Elektronica en Telecommunicatie 9

Gemeenschappelijke publikatie van de
Sectie voor Telecommunicatietechniek van het K.I.v.I. en het
Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap.
Redactie-adres: Prinsessegracht 23, Den Haag.

528.517

Elektronische afstandsmeting in de landmeetkunde

door ir. J. C. de Munck, Laboratorium voor Geodesie, T.H. Delft



Synopsis: *Electro-magnetic distance measurement.*
The various methods of electro-magnetic distance measurement are briefly characterized and compared with each other. Two instruments are treated more in detail.
The role of the refractive index of the air is indicated as well as the possibilities of using the dispersion of light waves in the air.

Elektronische afstandsmeting is een methode voor het meten van afstanden van enkele decameters tot enkele megameters (de megameters hebben betrekking op geodetische metingen naar kunstmanen). Hierbij wordt van het ene uiteinde A van de te meten afstand een signaal uitgezonden naar het andere uiteinde B; van het punt B loopt een signaal terug naar A, zodat men in A de (dubbele) looptijd kan meten. Indien de snelheid en de route bekend zijn, kan de afstand berekend worden.

Als signaal worden steeds elektromagnetische golven gebruikt omdat hiervan, althans in de vrije ruimte, de effectieve route en snelheid goed bekend zijn (respectievelijk een rechte lijn en $c = 299792{,}5$ km/s). Bij landmeetkundige metingen verschillen de omstandigheden gewoonlijk niet al te veel met die in de vrije ruimte, zodat correcties kunnen worden aangebracht op grond van schattingen of op grond van enkele hulpmetingen.

De instrumenten en methoden van elektronische afstandsmeting kunnen op twee manieren onderscheiden worden in twee groepen, zoals blijkt uit tabel 1, waarin enkele voorbeelden staan aangeduid:

Tabel 1.

	Licht	Radiogolven
Impuls	Afstanden naar maan en kunstmanen Militaire afstandsmeters	Radar, Shoran, Hiran. Sommige navigatie-systemen
Continue modulatie	Elektroöptische afstandsmeters bijv. Geodimeter	Radioafstandsmeters, bijv. Tellurometer

Voordracht, gehouden tijdens de 209e werkvergadering van het NERG op 10 april 1970 te Utrecht.

Met *impulsen* is het mogelijk om snelle metingen te verrichten. Dit is van belang voor militairen (meten voordat men gezien wordt) en voor het meten naar bewegende voorwerpen (kunstmanen, maan, navigatie, radar). De impulsen hebben dikwijls een zeer groot vermogen (Megawatts, Gigawatts), wat gevaarlijk is en veelal grote apparatuur vergt. In verschillende gevallen geven de impulsen de mogelijkheid om zeer grote afstanden te meten, of om afstanden te meten zonder een speciaal apparaat of een speciale reflector op het verre punt (radar, militair gebruik). Het gebruik van impulsen geeft verder de mogelijkheid, onderscheid te maken tussen het directe signaal en reflecties (bijv. van de grond of van de ionosfeer).

Landmeetkundigen zijn zeer bevoorrechte mensen omdat zij meestal de tijd hebben: hun object, de aarde, de grond, verandert nl. zeer langzaam. Significante veranderingen vinden alleen plaats in de tijd van jaren; toch kan een meting niet jaren lang duren om economische redenen. In verband met de afstanden (meestal hectometers of kilometers) zijn de transporttijden echter vrij groot, vooral omdat de te bepalen punten dikwijls niet erg gemakkelijk toegankelijk zijn (in een akker, boven op een berg, op een toren). Bij transporttijden van kwartieren tot vele uren speelt een meettijd van enkele minuten een geringe rol. Het is echter wel van groot belang dat het instrumentarium licht is en robuust. Om al deze redenen wordt in de landmeetkunde meestal gewerkt met *continue modulatie*, waarbij over zeer vele perioden gemiddeld wordt; dikwijls is het middelen over niet te korte tijd ook van belang in verband met fluctuaties in de dichtheid van de lucht. Men werkt dan ook met een bandbreedte van bijv. 1 Hz of minder. Deze nauwe bandbreedte wordt gebruikt om met een licht, betrekkelijk eenvoudig, instrument nauwkeurigheden te bereiken van bijv. 1,5 cm, wat overeenkomt met een gemeten looptijd van 0,1 ns.

De methoden van elektronische afstandsmeting kunnen naar de draaggolf verdeeld worden in elektroöptische (0,4 ... 1 μm) en radiomethoden (meestal 8 mm, 3 cm of 10 cm golflengte).

Het belangrijkste verschil tussen beide methoden wordt gevormd door de bundelbreedte die in de praktijk bereikt wordt; deze bundelbreedte wordt vooral voor radiogolven begrensd door de diameter D van de antenne (optiek) en door de golflengte λ. Zoals bekend kan de divergentie ϕ van een bundel nauwelijks kleiner zijn dan λ/D.

Voor draagbare veldapparatuur zou een diameter, groter dan ca. 30 cm, onpraktisch worden, mede in verband met de wind. Bij licht wordt de bundelbreedte meestal bepaald door de afmetingen en de kwaliteit van de (optische) onderdelen.

Tabel 2 geeft een indruk van de bundelbreedte bij elektronische afstandsmeting; ook zijn de divergenties van bundels na reflectie in een triple-spiegel (3 onderling loodrechte spiegels) opgenomen. Voor licht is gerekend met hoekspiegels die in de praktijk gebruikt worden (opening 5 cm), voor radiogolven is gedacht aan reflectors met een diameter van 30 cm.

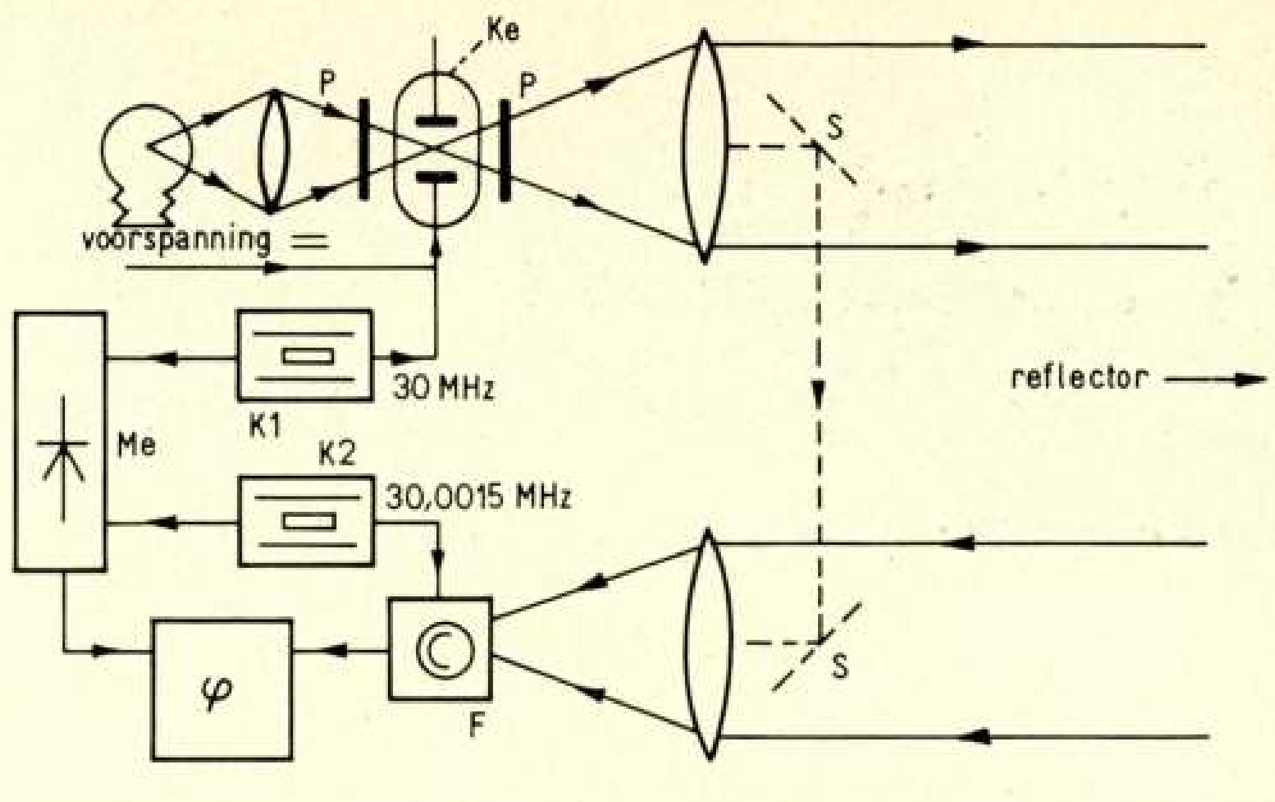


Fig. 1. Schema van een elektroöptische afstandsmeter.

Tabel 2.

Optiek	Divergentie	Divergentie-reflector
NeHe-laser met optiek	0,1 mrad	0,02 mrad
Gloeilamp met optiek	1 ,,	0,02 ,,
Microgolven 8 mm	30 ,,	30 ,,
,, 3 cm	100 ,,	100 ,,
,, 10 cm	300 ,,	300 ,,

Door de grote divergentie van de bundels met radiogolven is het niet mogelijk om landmeetkundige afstandsmeting te verrichten met een passieve reflector (wordt wel gebruikt bij radar). Bij gebruik van zo'n reflector zou een groot deel van het terugontvangen signaal afkomstig zijn van reflecties op de omgeving. Bij radiogolven gebruikt men op het verre punt dan ook altijd een zender-ontvanger, die de signalen op een enigszins afwijkende draaggolf terugzendt; dit betekent extra manuren. Dank zij het gebruik van twee actieve instrumenten is het echter wel mogelijk om grote afstanden te overbruggen (bijv. 50 km). Een voordeel van radiogolven is verder, dat weinig of geen last wordt ondervonden van mist of nevel.

Een bezwaar is de relatief grote invloed van de vochtigheid van de lucht op de voortplantingssnelheid van radiogolven. Door de grote divergentie van de bundels heeft men verder dikwijls last van reflecties op de grond of op obstakels, waardoor de afgelegde weg van het ene instrument naar het andere niet altijd voldoende eenduidig bepaald is.

Om een indruk te geven van de werking van elektronische afstandsmeters volgt hier een beschrijving van twee instrumenten, één werkend met licht en één met radiogolven.

De Geodimeter model 6A

Afstanden: overdag tot 2 km; 's nachts tot 10 km.
Nauwkeurigheid: standaarddeviatie $\sigma \approx 1$ cm $+ 2 \cdot 10^{-6}\ l$.
Gewicht: uitrusting zonder reflectors ca. 45 kg.

De lichtbron (een gloeilampje, eventueel een kwiklamp) wordt afgebeeld op een kerrcel K_e (zie fig. 1), die samen met twee polaroïds P de lichtmodulator vormt. Over de platen van de kerrcel staat, behalve een voorspanning (gelijkspanning) een wisselspanning van ca. 30 MHz, geleverd door een kwartsoscillator K_1 (stabiliteit 1 : 10^6). Het gemoduleerde licht wordt met een optisch stelsel gericht op de reflector op het verre punt; het wordt via de ontvang-optiek weer opgevangen op een fotomultiplicator F. Met deze fotomultiplicator wordt de modulatie van het ontvangen licht (30 MHz) gemengd met een wisselspanning uit de tweede kwartsoscillator K_2, waarvan de frequentie 1,5 kHz afwijkt van die van K_1. Het uitgangssignaal van 1,5 kHz wordt in fase vergeleken met het signaal uit de menger Me. De fasemeter ϕ bestaat uit een goniometer en een fasedetector; uit de aflezing van deze goniometer vindt men de te meten looptijd (en daarmee de afstand) afgezien van een geheel aantal standaardlengten van de halve modulatiegolflengte. Om dit onbekende aantal golflengten te vinden meet men achtereenvolgens met enkele (3 of 4) verschillende frequenties van de kwartsoscillatoren.

De instrumentele vertragingen en faseverschuivingen worden grotendeels geëlimineerd door, behalve de gevraagde afstand, ook een korte ingebouwde afstand te meten (aangeduid met de omklapbare spiegels S in fig. 2).

Voor nadere bijzonderheden wordt verwezen naar [1]. In fig. 2 is de praktische uitvoeringsvorm van de beschreven meter weergegeven.

De Tellurometer model MRA 4

Afstanden l: tot 50 km.
Nauwkeurigheid: standaarddeviatie $\sigma \approx 5$ mm $+ 3l \cdot 10^{-6}$.
Gewicht: uitrusting per opstelpunt ca. 80 kg.
Uitgestraald vermogen: 20 à 50 mW.
Bundelbreedte: 2° (bij half vermogen).
Draaggolf: 34,5-35,1 GHz (afstembaar).

Op ieder eindpunt van de meetlijn staat een zender-ontvanger, op het ene punt het hoofdinstrument waarmee gemeten wordt, op het andere punt het neveninstrument: de beide instrumenten zijn identiek, de functie kan met een schakelaar worden omgezet. De zender van het hoofdinstrument wordt afgestemd op een draaggolf van bijv. 35 GHz; hij wordt frequentie-gemoduleerd (FM) met 75 MHz uit een kwartsoscillator (zie fig. 3).

De zender van het neveninstrument, die tevens dient als lokale oscillator, wordt 46,5 MHz hoger afgestemd; hij wordt frequentie-gemoduleerd met 75,0015 MHz (of met 74,9985 MHz). Uit de middenfrequentversterker van het neveninstrument komt dan een draaggolf van 46,5 MHz, amplitude-gemoduleerd met 1,5 kHz. Na detectie wordt deze 1,5 kHz gedeeld door 2 en gemoduleerd op 70 kHz. Dit totale signaal wordt als extra fre-

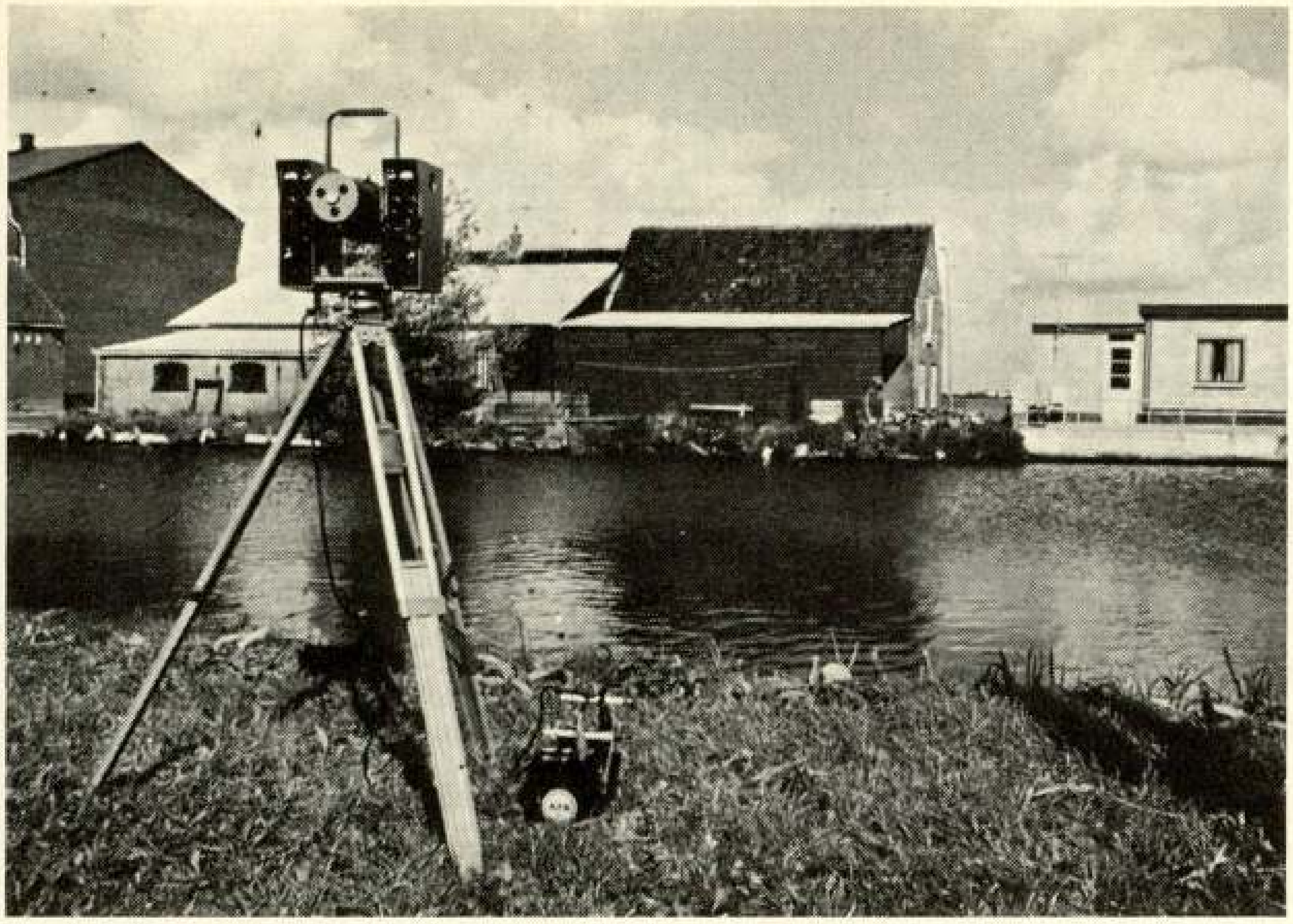


Fig. 2. Geodimeter model 6 in opstelling (dit model is uitwendig vrijwel identiek aan model 6A).

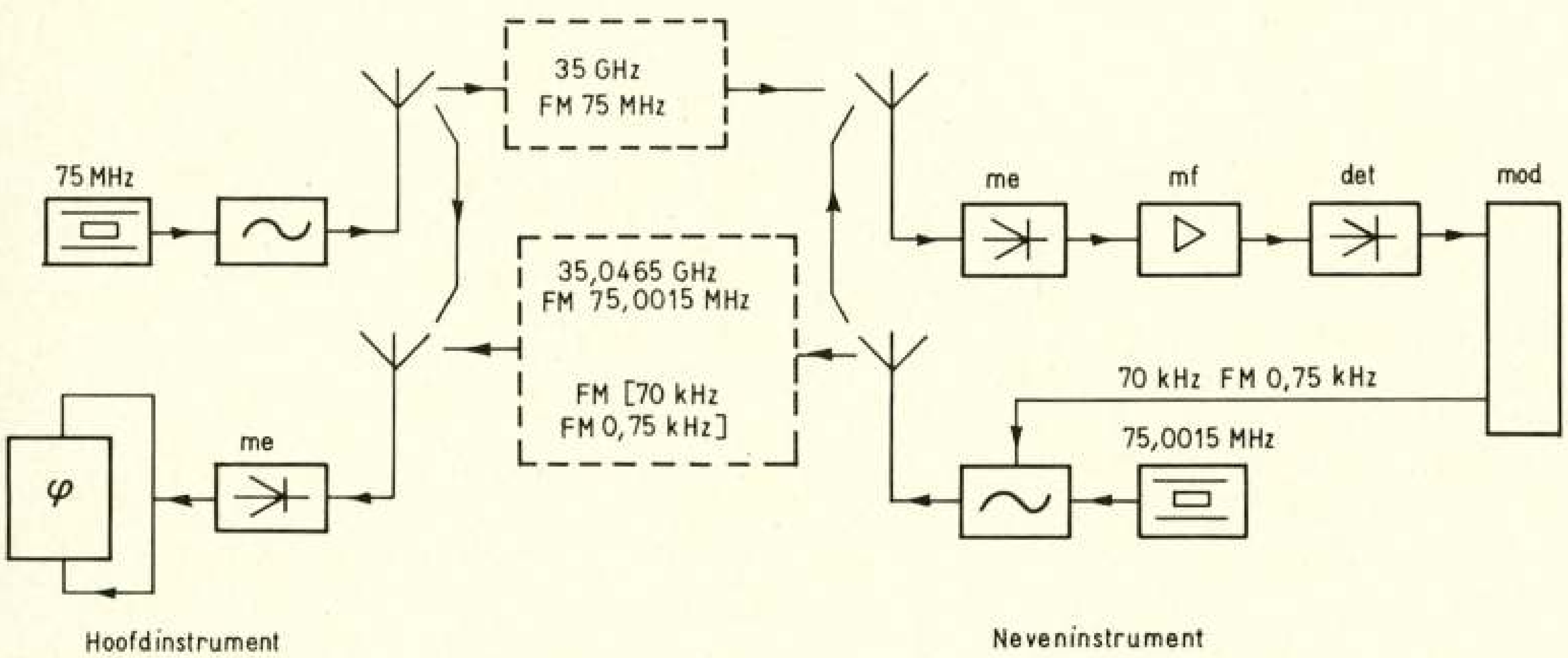


Fig. 3. Schema van een radioafstandsmeter.



Fig. 4. Tellurometer MRA4 in opstelling.

quentie-modulatie mee teruggezonden naar het hoofdinstrument.

In de ontvanger van het hoofdinstrument, die in de figuur sterk vereenvoudigd is weergegeven, worden twee signalen van 1,5 kHz gemaakt, één signaal uit de menging van 35 GHz met FM 75 kHz van de eigen zender met het analoge signaal uit het neveninstrument (35,0465 GHz, FM 75,0015 MHz) en één signaal afkomstig van de 70 kHz met FM 0,75 kHz.

Het faseverschil tussen deze beide signalen blijkt een directe maat te zijn voor de looptijd van de radiogolven, afgezien van een geheel aantal perioden van $1/75 \cdot 10^6$ s. Dit aantal wordt ook hier gevonden door achtereenvolgens te meten met verschillende modulatie-frequenties.

Verschillende vertragingen in de instrumenten worden geelimineerd door, behalve met (75 MHz + 1,5 kHz), ook een meting te doen met (75 MHz − 1,5 kHz).

Voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar [2], [3] en [12]. Een praktische uitvoeringsvorm is afgebeeld in fig. 4.

De laatste tijd worden er verschillende elektroöptische afstandsmeters ontwikkeld die met infrarood werken (ca. 0,8 μm), waarbij als lichtbron een licht-emitterende diode gebruikt wordt, die

direct tot zeer hoge frequenties gemoduleerd kan worden. Als fotocel wordt een halfgeleiderdiode gebruikt; op deze wijze is het mogelijk, compacte instrumenten te maken die speciaal geschikt zijn voor korte afstanden (bijv. tot 1 km) [4].

De bovenbeschreven instrumenten hebben, zoals vrijwel alle elektronische afstandsmeters, een kwartsoscillator als tijdreferentie. Eén instrument vormt hierop een uitzondering, nl. de 'Mekometer'. Bij dit instrument wordt licht gemoduleerd met een frequentie die bepaald wordt door een trilholte van zeer stabiele afmetingen (gesmolten kwarts). Behalve door deze afmetingen wordt de frequentie ook bepaald door de brekingsindex van de lucht in de trilholte. De constructie is zodanig, dat deze (droge) lucht dezelfde temperatuur en druk heeft als de buitenlucht.

Met dit instrument wordt niet zozeer de looptijd van een signaal door de lucht gemeten, dan wel de verhouding van de gevraagde afstand tot de karakteristieke lengte van de trilholte. De gevraagde lengte wordt hierbij gemeten met gemoduleerd licht, de vergelijkingslengte in de trilholte met microgolven [5].

Bij nauwkeurige metingen (één of enkele delen op het miljoen) moet de voortplanting van de signalen door de atmosferische lucht nader worden beschouwd. Het belangrijkste is hierbij de voortplantingssnelheid v van de elektromagnetische golven, omdat de baan in het algemeen slechts weinig afwijkt van een rechte lijn.

Voor de lichtweg l tussen twee punten A en B kan men gewoonlijk schrijven:

$$L = \int_A^B v \, dt = \int_A^B (c/n) \, dt \quad (1)$$

waarin n de brekingsindex van de lucht voor de betreffende elektromagnetische golven voorstelt. Aangezien de looptijd wordt gemeten aan de modulatie van de golven, moet men hierbij rekenen met de *groepsbrekingsindex*, die bijv. voor licht ca. 20 delen op het miljoen verschilt met de fasebrekingsindex [6].

In het algemeen is n een functie van de plaats ten gevolge van de inhomogeniteit van de lucht, zoals de gelaagdheid. Meestal wordt de waarde van een gemiddelde brekingsindex $\bar{n}$ geschat of berekend op grond van meteorologische metingen aan één of twee uiteinden van het traject. De rechtlijnige afstand l_{AB} tussen A en B kan meestal gelijkgesteld worden aan de lengte l van de, in het algemeen gebogen, licht- (radio-) straal. Zo kan men schrijven:

$$l_{AB} = (c/\bar{n})t \quad (2)$$

De looptijd t volgt direct uit de elektronische afstandsmeting. Indien de lichtsnelheid in de vrije ruimte, c, bekend is en ook de gemiddelde brekingsindex $\bar{n}$, kan de afstand l_{AB} berekend worden.

Voor droge atmosferische lucht is (n-1) recht evenredig met de dichtheid, dus recht evenredig met de luchtdruk P en omgekeerd evenredig met de absolute temperatuur T. Bij $P \approx 1$ at en $T \approx 300$ K is $(n\text{-}1) \approx 3 \cdot 10^{-4}$. Hieruit volgt dat een fout in de schatting van de temperatuur van 1 °C een fout in $\bar{n}$ geeft van 10^{-6} en daarmee een fout in de berekende afstand van één deel op het miljoen (deze temperatuursinvloed is vergelijkbaar met de uitzettingscoëfficiënt van invar). Zonder speciale maatregelen vormt dit temperatuureffect een begrenzing voor de nauwkeurigheid van elektronische afstandsmeting tot $1:10^6$.

De invloed van de luchtdruk is minder belangrijk, omdat het niet moeilijk is deze met voldoende nauwkeurigheid te meten. Voor wat de samenstelling van de lucht betreft is alleen de vochtigheid van belang. Voor licht is deze invloed gewoonlijk verwaarloosbaar, maar voor radiogolven hangt de brekingsindex vrij sterk af van de hoeveelheid waterdamp ($5 \cdot 10^{-6}$ per Torr). De vochtigheid van de lucht wordt bij radioafstandsmeting bepaald met een psychrometer (natte- en droge bol).

Door deze invloed van de vochtigheid is de nauwkeurigheid van radioafstandsmeters gewoonlijk iets slechter dan die van elektroöptische afstandsmeters.

Een andere meteorologische bron van fouten is de afwijking van de rechte lijn; deze afwijking ontstaat door refractie (principe van Fermat, wetten van Snellius [7]). Het geometrische verschil tussen koorde en boog is vrijwel altijd verwaarloosbaar t.o.v. andere fouten. Iets belangrijker is het, dat de signalen ten gevolge van deze refractie door luchtlagen met een afwijkende brekingsindex kunnen lopen, maar ook dit effect is alleen merkbaar bij nauwkeurige metingen over grote afstanden (tientallen km).

In bepaalde gevallen is er behoefte aan een hogere nauwkeurigheid dan $1:10^6$, nl. bij het voorspellen van aardbevingen, waarbij men over afstanden van bijv. 10 km deformaties wil meten ter grootte van een onderdeel van een mm. Deze deformaties treden op in de loop van één of meer maanden.

De *dispersie* van de lucht blijkt hier een mogelijke oplossing te geven: de brekingsindex voor rood licht zijn $\bar{n}_r$, die voor paars licht $\bar{n}_p$ (golflengten bijv. 0,62 µm en 0,37 µm).

Uit (2) volgt voor rood licht:

$$\bar{n}_r l_{AB} = c \cdot t_r \quad (3)$$

en voor paars licht:

$$\bar{n}_p l_{AB} = c \cdot t_p, \quad (4)$$

als t_r en t_p de looptijden zijn van A naar B.

Door aftrekken vindt men:

$$(\bar{n}_p - \bar{n}_r) l_{AB} = c \cdot (t_p - t_r) \quad (5)$$

Als (n-1) recht evenredig is met de dichtheid van de lucht en als de evenredigheidsconstante alleen afhangt van de vacuümgolflengte van het licht, is:

$$\frac{\bar{n}_r - 1}{\bar{n}_p - \bar{n}_r} = K \quad (6)$$

een constante, die in laboratoria met hoge nauwkeurigheid bepaald kan worden.

Voor de afstand vindt men uit (3), (5) en (6):

$$l_{AB} = ct_r - cK \cdot (t_p - t_r) \quad (7)$$

De looptijd t_r wordt gemeten met rood licht en, bovendien, het verschil in looptijd $(t_p - t_r)$ met paars licht en rood licht. Zo kan uit (7) de afstand l_{AB} berekend worden zonder gebruik te maken van metingen van de temperatuur of de luchtdruk. In het algemeen zal het wel gewenst zijn, de vochtigheid te meten.

De constante K blijkt voor de eerdergenoemde golflengten ongeveer 10 te zijn, zodat het verschil in looptijd $(t_p - t_r)$ minstens tienmaal zo nauwkeurig gemeten moet worden als de looptijd zelf; een matige relatieve nauwkeurigheid in $(t_p - t_r)$ is echter voldoende.

Met deze methode zijn hoopgevende experimenten aan de gang. Wellicht kan op dergelijke wijzen een nauwkeurigheid van $1:10^7$ of beter bereikt worden voor aardse afstanden ([8], [6]).

Zeer hoge relatieve nauwkeurigheden zijn ook bereikbaar met afstandsmetingen naar kunstmanen of naar de maan met behulp van sterke lasers. De lichtweg (bijv. 3 megameter of 0,4 gigameter) loopt hierbij nl. grotendeels door hoog vacuüm buiten de dampkring. Nauwkeurigheden van ca. 1,5 m worden reeds nu bereikt, voor de niet te verre toekomst denkt men reeds aan nauwkeurigheden van enkele cm.

In het voorgaande zijn enige aspecten van de elektronische afstandsmeting in het kort behandeld; voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar de literatuur. Diverse gegevens vindt men in [9]; vooral over afstandsmeting en plaatsbepaling op zee geeft [10] het één en ander. Het artikel [11] handelt over een navigatiesysteem met behulp van kunstmanen.

Over de toepassing van elektronische afstandsmeting en radio-plaatsbepaling vindt men verder diverse interessante lezingen in de transacties van de conferenties van de 'Commonwealth survey officers', die iedere 3 jaar in Engeland gehouden worden [12].

Literatuur

[1] R. Schöldström: Die Geodimeter-Instrumente 6A und 8. Alg. Vermessungs Nachr. **76**, 7 (1969), pp. 308 ... 317.

[2] A. G. Marshall: Factors affecting the instrumental accuracy of Tellurometers and design improvements to minimize errors. Uitgave van 'The Plessey Group', omstreeks 1966.

[3] T. L. Wadley: Electronic principles of the Tellurometer. Transactions South African Institution of Electronical Engineers (1958), pp. 143 ... 172.

[4] Elektro-optische afstandsmeters. Geodesia (Nederl.). **11** (1969), blz. 12 ... 17 en 39.

[5] K. D. Froome and R. H. Bradsell: N.P.L. Mekometer III. Algemeine Vermessungs Nachrichten **75**. (1968), pp. 159 ... 163.

[6] J. C. de Munck: The theory of dispersion applied to electro-optical distance measurements. Publication National Geodetic Commission **3**, no. 4, Delft 1970.

[7] M. Minnaert: De natuurkunde van 't vrije veld. Thieme, Zutphen, 5e druk, 1968.

[8] J. C. Owens: The use of atmospheric dispersion in optical distance measurement. Bulletin Géodésique (1968), no. 87, pp. 277 ... 291.

[9] Algemeine Vermessungs Nachrichten. Speciale nummers 'Elektronische Entfernungsmessung', die ongeveer twee maal per jaar verschijnen.

[10] Special Publication van het International Hydrographic Bureau (Monaco) onder de titel 'Radio Aids'.

[11] T. A. Stansell Jr.: The navigation satellite system: description and status. International Hydrographic Review, **57**, 1 (1970), pp. 51 ... 70.

[12] M. J. Hall: Tellurometer MRA4: a survey of short range performance. Conference Commonwealth Survey Officers 1967, Part II, Paper H2, pp. 444 ... 450.

528.5:53.087.9

Automatische registratie in de landmeetkunde

door dr. ir. M. J. M. Bogaerts, Laboratorium voor Geodesie, T.H. Delft



Synopsis: *Automatic registration in land surveying.*
A description is given of a new land surveying instrument with an automatic registration system for the measurement of distances, height differences and angles. By means of coded disks, the measurement data are registered on the magnetic tape of a cassette recorder. The article is concluded by the description of an electronic apparatus for transferring the data from the magnetic tape to punched cards needed for computer processing of the measurements.

1. Inleiding

Aan de studie voor geodetisch ingenieur in Delft is pas sinds één jaar een college in de elektrotechniek toegevoegd. Deze mededeling dient ter illustratie van de geringe rol die de elektrotechniek in de landmeetkunde speelde; in de laatste jaren is de situatie volledig veranderd en het laat zich aanzien, dat de nieuwe landmeetkundige apparatuur zelfs vnl. elektronische apparatuur zal zijn.

Omdat het landmeten voor de buitenstaanders een vrij onbekende techniek is, wordt één van de meest voorkomende werkzaamheden (de detailmeting) in het kort nader toegelicht. Hierbij worden de hoek- en knikpunten van eigendoms- en topografische grenzen gemeten, evenals allerlei terreindetails zoals hoekpunten van gebouwen, straten, kanalen, enz.

De coördinaten van al deze gemeten punten worden berekend in één coördinatenstelsel, het systeem van de Rijksdriehoeksmeting. Het nulpunt van dit stelsel valt samen met de spits van de Lieve Vrouwe Toren in Amersfoort, terwijl de positieve y-as in de richting van de noordpool loopt. Met een vrij eenvoudige techniek kan met behulp van de coördinaten van de opgemeten punten de terreinsituatie in kaart worden gebracht. Deze kaart kan bijv. dienst doen als eigendomskaart voor een grondbelasting, als basis voor stedebouwkundige en andere planologische ontwerpen, als grondslag voor het projecteren van grote technische werken, enz.

Er bestaan een aantal technieken om een dergelijke detailmeting uit te voeren. Als het om objecten, groter dan enkele honderden hectaren gaat, wordt luchtfotogrammetrie toegepast, hierbij worden van het op te meten terrein vanuit een vliegtuig stereoscopische fotoparen opgenomen (zie fig. 1).

In een speciaal uitwerkingsinstrument worden de lichtstralenbundels teruggeprojecteerd, die de foto's hebben doen

Voordracht, gehouden tijdens de 209e werkvergadering van het NERG op 10 april 1970 te Utrecht.

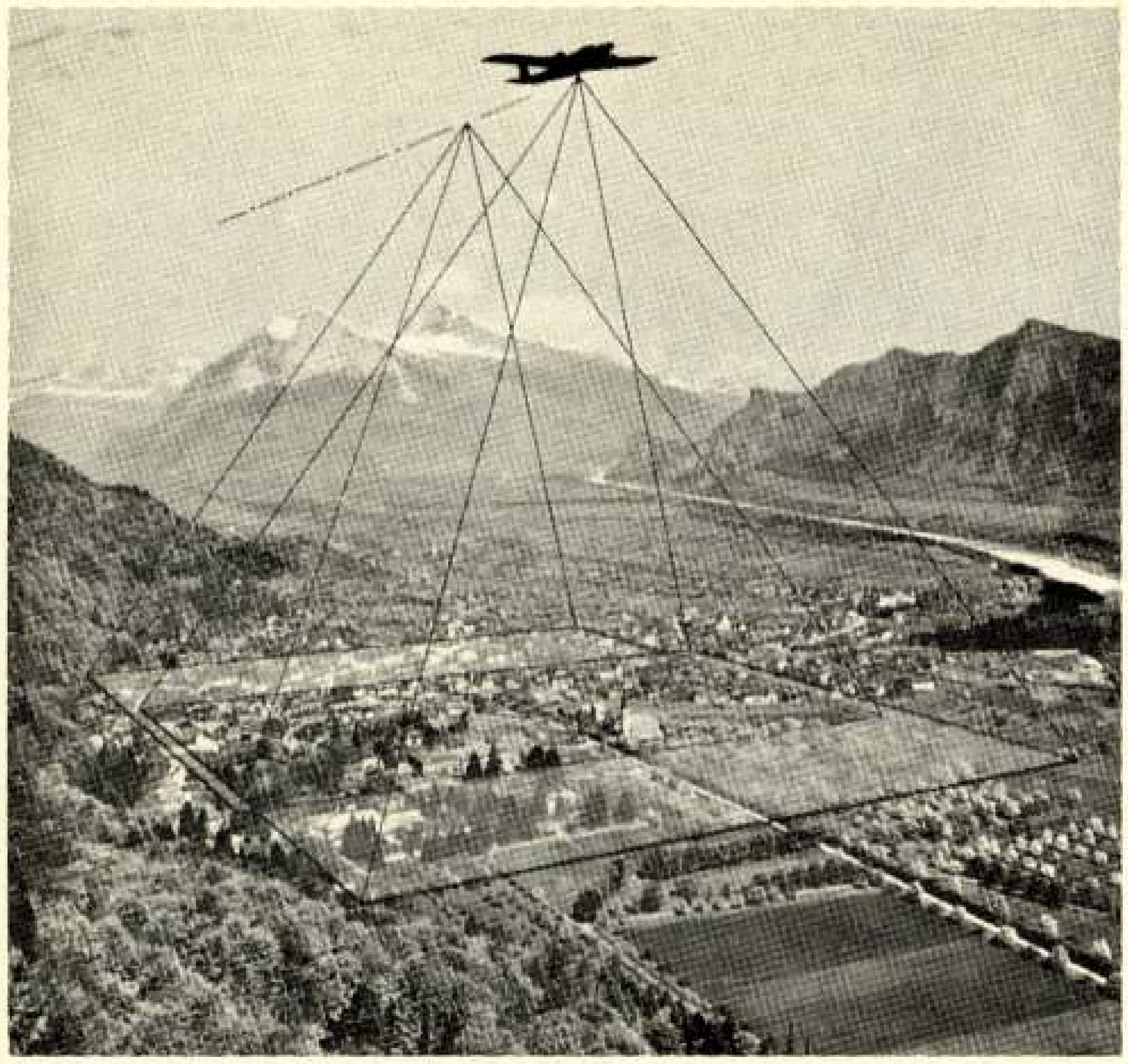


Fig. 1. Fotogrammetrische opname. De luchtfoto's overlappen elkaar voor 60%.

ontstaan. Hierbij worden stralen van verschillende opnamen naar dezelfde terreinpunten tot snijding gebracht; de foto's worden op deze manier aan elkaar gekoppeld, waardoor men een verkleind ruimtelijk model van het opgenomen terrein verkrijgt. In dit ruimtemodel kunnen metingen worden verricht om bijv. kaarten te vervaardigen. Bij deze methode geschiedt de registratie dus op fotografisch materiaal; verdere automatische verwerking is niet zonder meer mogelijk.

Fotogrammetrie kan niet in alle gevallen worden toegepast: voor kleine objecten is het onrendabel om een vliegtuig in te schakelen. In stedelijke gebieden moet een minimumvlieghoogte worden aangehouden, waardoor niet altijd de gewenste nauwkeurigheid, welke mede afhankelijk is van de vlieghoogte, in het meetresultaat kan worden bereikt. In dichtbegroeide gebieden zijn de terreindetails niet altijd zichtbaar; daarom worden voor de detailmeting naast de fotogrammetrie ook meer rechtstreekse methoden toegepast, waarbij een meetploeg in het terrein de metingen uitvoert.

Een van de methoden die zich goed leent voor automatische registratie van de meetgegevens is de meting volgens de voerstraalmethode. Het instrument, dat hierbij meestal wordt gebruikt, is een optische afstandsmeter of tachymeter; met dit instrument kunnen richtingen, lengten en hoogteverschillen worden gemeten. De landmeter wil zijn metingen weergeven in een kaart, die een horizontale projectie is van het terrein. In de tachymeters is daarom een mechanisme ingebouwd, waardoor men naast de genoemde grootheden ook de horizontale lengten naar de verschillende terreinpunten meten kan. In fig. 2 is een terreingedeelte weergegeven, dat volgens de voerstraalmethode is opgemeten.

Landmeten is een zeer arbeidsintensief werk: een goede meetploeg (bestaande uit vijf man) meet 100 à 150 terreinpunten per dag; het meten en het verwerken kost per punt ongeveer *f* 5,—. In ons laboratorium voor geodesie in Delft wordt getracht door automatisering het meetproces en de verwerking zoveel mogelijk te vereenvoudigen; het ligt voor de hand, dat begonnen is met de automatisering van de registratie van de waarnemingen. Eerst is gebruik gemaakt van formulieren waarvan de gegevens met behulp van een optische bladlezer automatisch worden omgezet in ponskaarten. Het voordeel hiervan is, dat aan de bestaande landmeetkundige instrumenten niets behoefde te worden gewijzigd. Hoewel deze formulieren al een belangrijke verbetering betekenden bleef de samenstelling van de meetploeg in het terrein ongewijzigd. Bij volledige automatische registratie zou de secretaris in de ploeg overbodig zijn, waardoor de meetploeg tot vier man wordt teruggebracht. Dit was één van de redenen om in ons laboratorium een volledig nieuwe tachymeter met een automatisch registratiesysteem te ontwikkelen.

Er bestonden reeds twee soorten *hoekmeetinstrumenten* met automatische registratie. Bij de eerste soort worden de waarnemingen op een filmstrook geregistreerd; de gegevens in deze film worden later op het kantoor in een speciaal instrument omgezet in ponsband. Deze oplossing is vanwege de zeer kostbare apparatuur nog niet rendabel; een andere oplossing is automatische registratie in ponsband. Het is echter tot nu toe niet gelukt een redelijk draagbaar apparaat te vervaardigen dat betrouwbaar werkt in het terrein.

Het is goed, eerst na te gaan aan welke eisen een landmeetkundig instrument – voorzien van een automatisch registratiesysteem – moet voldoen. Het instrument wordt voortdurend verplaatst, terwijl meestal als gevolg van de gesteldheid van het terrein de apparatuur gedragen moet worden. Het instrument moet daarom klein van omvang en licht van gewicht zijn; het moet bestand zijn tegen schokken, grote temperatuurschommelingen en verschillende weersinvloeden. De registratieapparatuur mag weinig stroom verbruiken; zij moet zeer eenvoudig zijn.

De ontwikkelde apparatuur bestaat uit:

– Een veldinstrument, waarin de meetgegevens op een kleine cassettemagneetband worden verzameld;

– Een omzetapparaat, waarin de gegevens kunnen worden vertaald in ponskaarten.

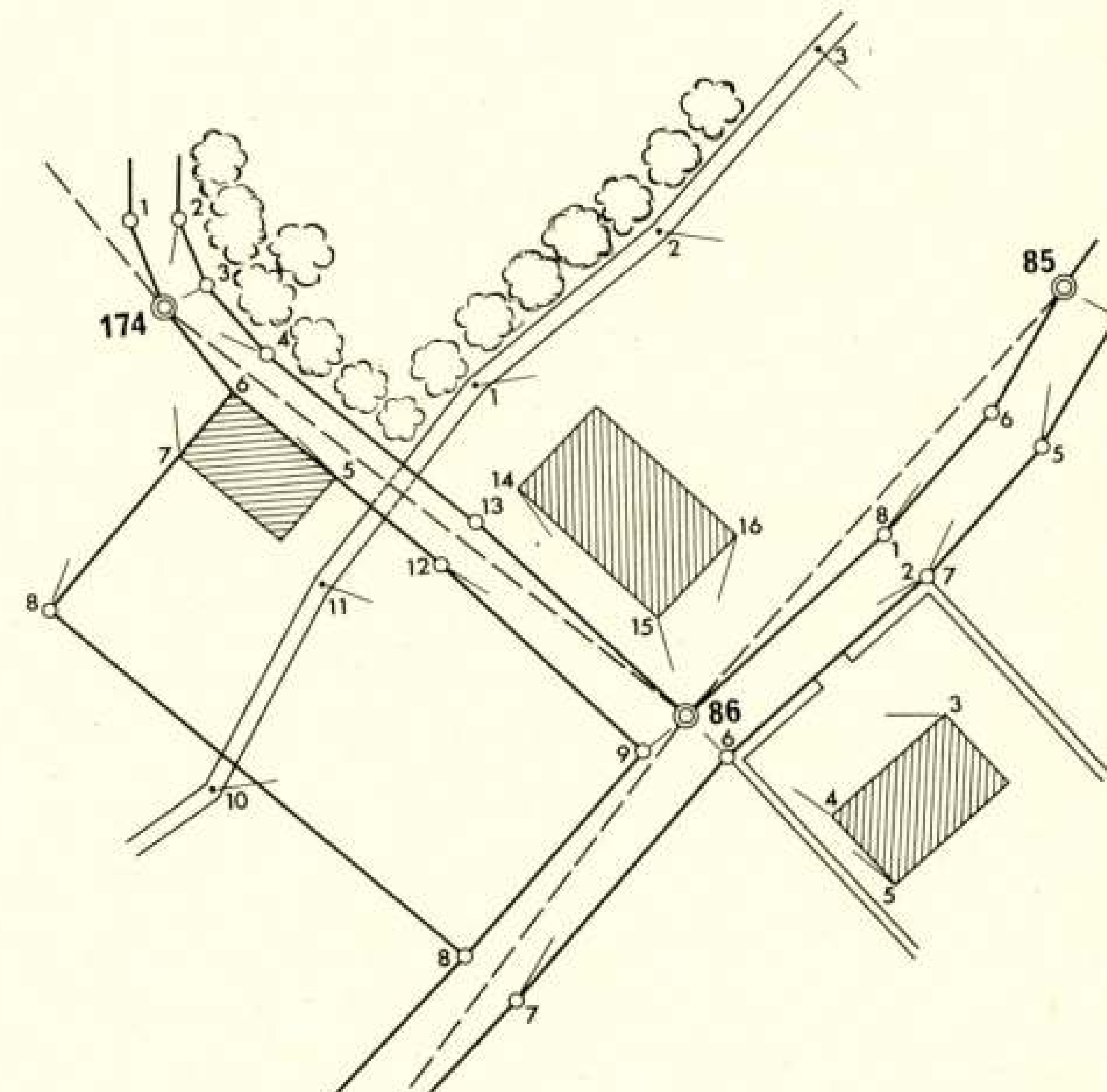


Fig. 2. Meting volgens de voerstraalmethode.

Om het hele meetsysteem te completeren zijn vier rekenprogramma's geschreven, en wel:
- voor het berekenen van de coördinaten van de gemeten punten;
- om de controle op de metingen uit te voeren;
- voor het bepalen van de grootte van de opgemeten percelen;
- om de invoer voor de elektronische tekenmachine te vervaardigen.

2. Beschrijving van het instrumentarium

Met het veldinstrumentarium kunnen naar een punt de rechtstreekse lengten, de horizontale lengten, de hoogteverschillen en de horizontale richtingen worden gemeten en geregistreerd. Daarnaast kunnen bepaalde gegevens worden geregistreerd, zoals standplaats en richtpuntnummers, codenummers voor verschillende soorten metingen, eventuele foutmeldingen, enz.

Het veldinstrumentarium (zie fig. 3) bestaat uit:
- een optisch gedeelte;
- enige analoog-digitaal omzetters;
- een elektronisch gedeelte en een geheugen.

2.1. Het optische gedeelte

Over het optische gedeelte, hoe interessant overigens op zichzelf, moet ik noodgedwongen erg kort zijn. In een kijker zijn twee beelden zichtbaar van het terreinvoorwerp waarop gericht wordt; deze beelden kunnen tot coïncidentie worden gebracht door het verschuiven van twee pentagoonprisma's over een basisrail. Deze verschuiving is desgewenst een maat voor de rechtstreeks gemeten lengte, de horizontale lengte of het hoogteverschil. Welke van deze drie grootheden wordt gemeten, hangt af van de stand van twee driezijdige prisma's, die ook tot het optische gedeelte behoren.

Het meten van afstanden d.m.v. coïnciderende beelden, zoals bijv. bij de afstandsbepaling in de zoeker van een fototoestel, zal de lezer bekend zijn. De verschuiving van de twee pentagoonprisma's wordt d.m.v. een aantal heugels en tandwielen overgebracht op een draaiende schijf; de hoekverdraaiing van deze schijf is een analoge grootheid, waarvan de waarde digitaal moet worden geregistreerd. Hier is dus een analoog-digitaal omzetter van een rotatie voor nodig.

Het is duidelijk, dat voor het meten van de horizontale hoek een identieke omzetter nodig is; voor de lengte- en hoogtemeting is een aantal van 2^{13} eenheden vereist; dit betekent, dat tot ongeveer 100 m met een nauwkeurigheid van 1 cm kan worden gemeten. De nauwkeurigheid van de hoekmeting met dit instrument moet ongeveer 1/3 boogminuut zijn; hier moet de analoog-digitaal omzetter 2^{16} eenheden kunnen meten.

2.2. De analoog-digitaal omzetters

Hoewel de techniek van analoog-digitaal omzetting de lezer vermoedelijk goed bekend is, volgt een kort overzicht om onze keuze te verklaren.

Eerst moest worden gekozen uit twee principes:
- analoog-digitaal omzetting van een rotatie, waarbij een interval wordt gemeten;
- analoog-digitaal omzetting van een rotatie, waarbij de stand van de afleesindex t.o.v. de codeschijf wordt gemeten.

Met de eerste methode meet men een hoek, met de tweede een richting.

Hoewel beide systemen wel voldoen, heeft het eerste toch enkele kleine bezwaren:

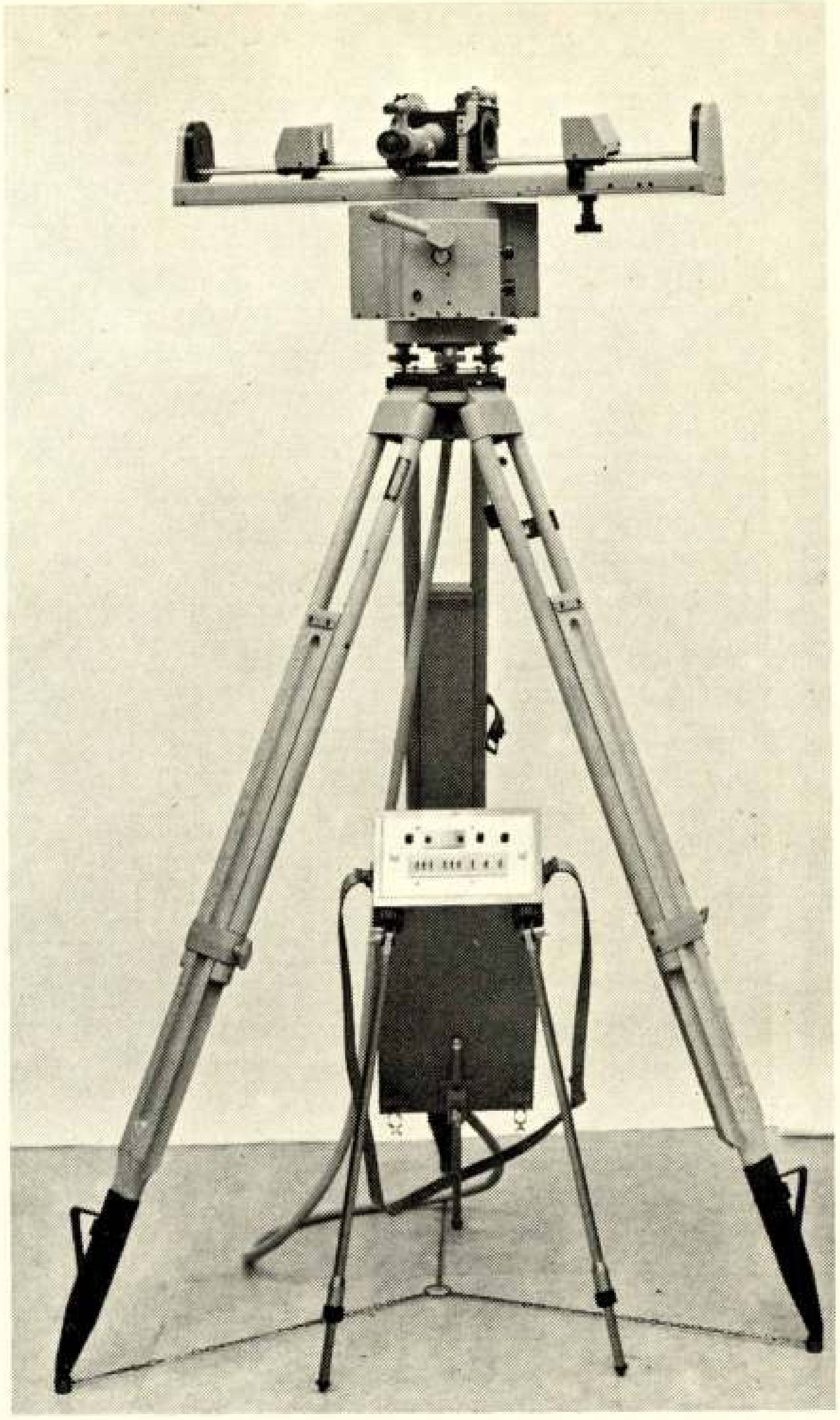


Fig. 3. Zelfreducerende basisafstandsmeter met automatische registratie.

- bij hoekmeting kan het richten op een meetmerk met de afleesdraad worden beschouwd als een iteratieproces. De analoog-digitaal omzetter moet worden voorzien van een teller die kan optellen en aftrekken; dit is niet in overeenstemming met de eisen van zo gering mogelijke afmetingen en gewicht van het instrument;
- bij deze methode worden intervallen bepaald t.o.v. een aangenomen nulpunt, door alle signalen bij elkaar op te tellen. Eenmalig optredende fouten t.o.v. dit nulpunt kunnen niet meer worden gecorrigeerd;
- er moet zo zuinig mogelijk met de stroomvoorziening worden omgesprongen. Na iedere meting wordt de stroom uitgeschakeld; dit betekent dat voor iedere meting vanuit de nulposities van de analoog-digitaal omzetters moet worden begonnen. Dit is in het algemeen te tijdrovend.

Om deze redenen is gekozen voor een omzetter die werkt volgens de absolute methode, waarbij de stand van de afleesindex t.o.v. een codeschijf wordt bepaald.

Naar de aard van het afleesmechanisme en het materiaal waarvan de codeschijf is vervaardigd, onderscheiden we de volgende soorten analoog-digitaal omzetters:

- *Elektromechanische omzetters;* de codeschijf bestaat hier uit geleidende en niet-geleidende delen. Bij deze omzetters bestaan veel problemen van mechanische aard; ruis is daarvan wel het grootste probleem. Deze soort analoog-digitaal omzetter is

waarschijnlijk de meest verbreide; zij werken echter vrijwel altijd volgens de telmethode.

– *Magnetische omzetters;* deze zijn voorzien van codeschijven waarvan het materiaal van de verschillende delen al of niet magnetisch is. Deze analoog-digitaal omzetters zijn ontworpen voor relatief hoge snelheden bij de asverdraaiing; het oplossend vermogen is betrekkelijk gering.

– *Optische omzetters;* deze zijn duur, maar het oplossend vermogen is zeer groot, zodat ze geschikt zijn voor analoog-digitaal omzetting volgens de absolute methode. De codeschijf bestaat uit afwisselend lichtdoorlatend en niet-lichtdoorlatend materiaal; het afleesmechanisme wordt gevormd door een serie lampjes en foto-elektrische cellen. De keus is bij ons op een optische codeschijf gevallen.

Een volgend probleem dat aan de orde komt is de keuze van de code die op de schijf moet worden aangebracht; in het algemeen is dit een binaire code. Een zuiver-binaire code is minder geschikt, omdat hier bij de overgang van de ene sector naar de andere een aantal overgangen van zwart naar wit en omgekeerd gelijktijdig kan optreden. Als de afleeslijn, die uit een aantal fotocellen bestaat, niet goed is uitgericht, kunnen vrij grote fouten optreden.

Er zijn enige methoden om dergelijke fouten bij overgangen te vermijden:

– Door het aanpassen van het afleesmechanisme kunnen fouten worden vermeden. Hierbij worden voor ieder spoor twee foto-elektrische cellen gebruikt, behalve op het fijnst verdeelde spoor; de fotocellen worden meestal in een V-vorm op de schijf geplaatst. In het algemeen geeft deze methode een grote vrijheid in de keuze van de code; de manier van aflezen is echter ingewikkeld en er is een grote hoeveelheid extra-schakelingen nodig. Deze oplossing voldoet niet aan de eisen van eenvoudigheid, kleine afmetingen en laag gewicht, welke aan een landmeetkundig instrument worden gesteld. Daarom is deze oplossing niet gekozen.

– Het aanpassen van de code door deze progressief te maken is de eenvoudigste manier om fouten te vermijden (al onze codeschijven zijn van een dergelijke progressieve code voorzien). Bij een progressieve code verandert steeds – bij de overgang van de ene sector naar de andere – op slechts één spoor het patroon van licht naar donker of omgekeerd. Bij niet te grote fouten in de uitlijning van de spleet, waardoor de lichtstralen op de fotocellen vallen, kunnen bij overgang van de ene sector van de schijf naar de andere geen grotere fouten optreden dan één eenheid van het getal. Het voordeel is, dat voor elk spoor slechts één fotocel nodig is; men is hierdoor echter wel beperkter in de keuze van de code. In fig. 4 zijn enkele progressief-binaire codes afgebeeld en de zuiver-binaire code ter vergelijking.

Van de progressief-binaire codes is voor het instrument de gray-code gekozen, vanwege de eenvoudige mogelijkheden die er bestaan om deze in de zuiver-binaire code om te zetten. Bij de relatie tussen de twee codes wordt gebruik gemaakt van de optelling volgens modulo-twee-systeem; in schakelalgebra luidt het verband:

$$b_n = g_n$$
$$b_j = g_j \cdot b_{j+1} + g_j \cdot b_{j+1} \; (j = 1, \ldots, n\text{-}1);$$ hierin is:

b een cijfer van het binaire getal;
g een cijfer van het gray-getal.

– Een derde mogelijkheid voor het vermijden van fouten in de aflezing van de codeschijf is de inschakeling van een micrometer; deze mogelijkheid is toegepast bij de hoekmeting.

Bij deze hoekmeting moet $1 : 2^{16}$ gedeelte van de cirkelomtrek kunnen worden gemeten; als deze meting met één codeschijf moet worden uitgevoerd, stelt dit niet alleen zeer hoge eisen aan de *vervaardiging van de schijf* (waardoor deze erg kostbaar wordt) maar voor het *afleesmechanisme* stuit men hierbij op bijna onoverkomelijke bezwaren. Bij een geodetisch instrument worden aan het afleesmechanisme extra zware eisen gesteld omdat een dergelijk apparaat onderhevig kan zijn aan verschillende atmosferische omstandigheden; bovendien staat een dergelijk instrument bloot aan schokken, omdat het veel wordt vervoerd en opgesteld.

Vanwege deze moeilijkheden is voor de hoekmeting een andere oplossing gekozen: in plaats van één codeschijf met 16 sporen is een hoofdschijf van 10 sporen ingebouwd en tevens een segment van een schijf ter grootte van ongeveer 40 graden, voorzien van 6 sporen. Met dit segment worden de onderdelen van het fijnst verdeelde spoor van de hoofdschijf gemeten.

In fig. 5 is de stand aangegeven van een gedeelte van de hoofdschijf t.o.v. de afleeslijn; in het 10e spoor zou het afstandje a met behulp van de micrometer moeten worden bepaald. Bij optische micrometers is dit geen probleem, omdat met behulp hiervan de afleeslijn tot coïncidentie wordt gebracht met een randstreep van de verdeling. Bij een codeschijf kan dit niet, omdat de afleeslijn, i.c. de opstelling van fotocellen, op een zwart-wit overgang wordt geplaatst, waardoor het onzeker is wat zal worden afgelezen.

Er is nu voor gezorgd dat, bij de aflezing van de micrometer, de rij van tien fotocellen zo ver mogelijk verwijderd staat van iedere zwart-wit overgang; dit betekent, dat de afleeslijn precies midden over een sector moet lopen. Om dit te bereiken is, naast het 10e spoor, een spoor met strepen aangebracht; deze strepen liggen op de grens van de sectoren van de codeschijf, dus tegenover alle zwart-wit overgangen. Bovendien wordt in het instrument een nieuwe afleeslijn aangebracht, die – evenals de afleeslijn met de fotocellen – op het middelpunt van de schijf is gericht. De twee afleeslijnen maken een constante hoek met elkaar; de grootte hiervan is een geheel aantal sectoren + de helft van een sector. De tweede lijn is voorzien van een afleesdraad; omdat

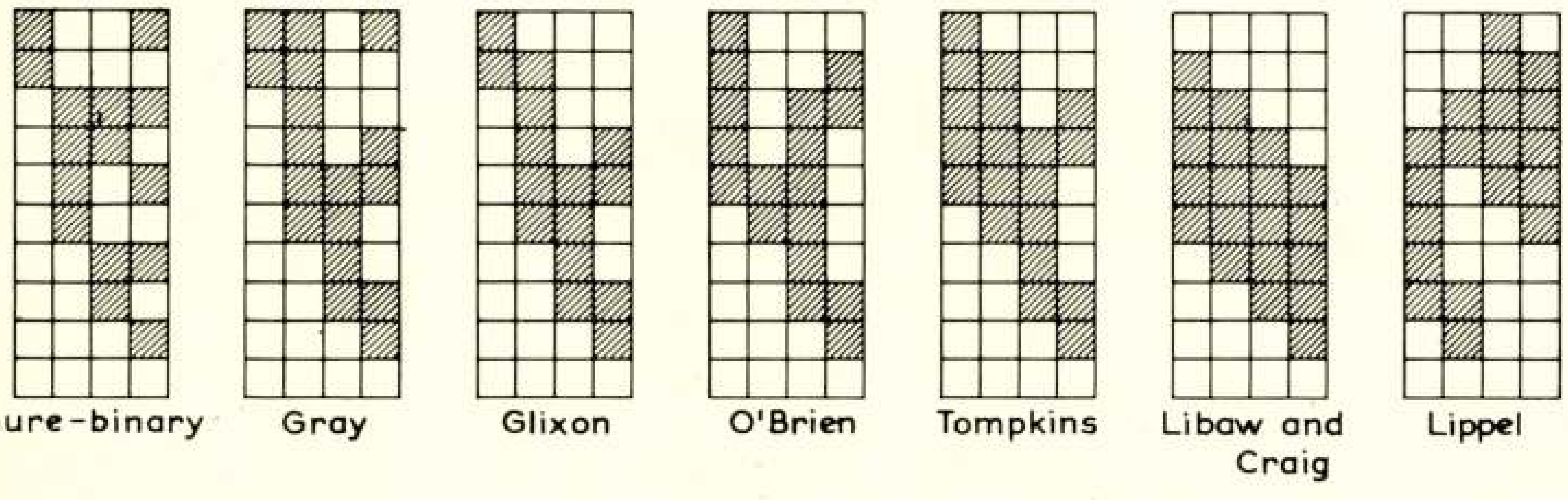


Fig. 4. Enkele progressief-binaire codes.

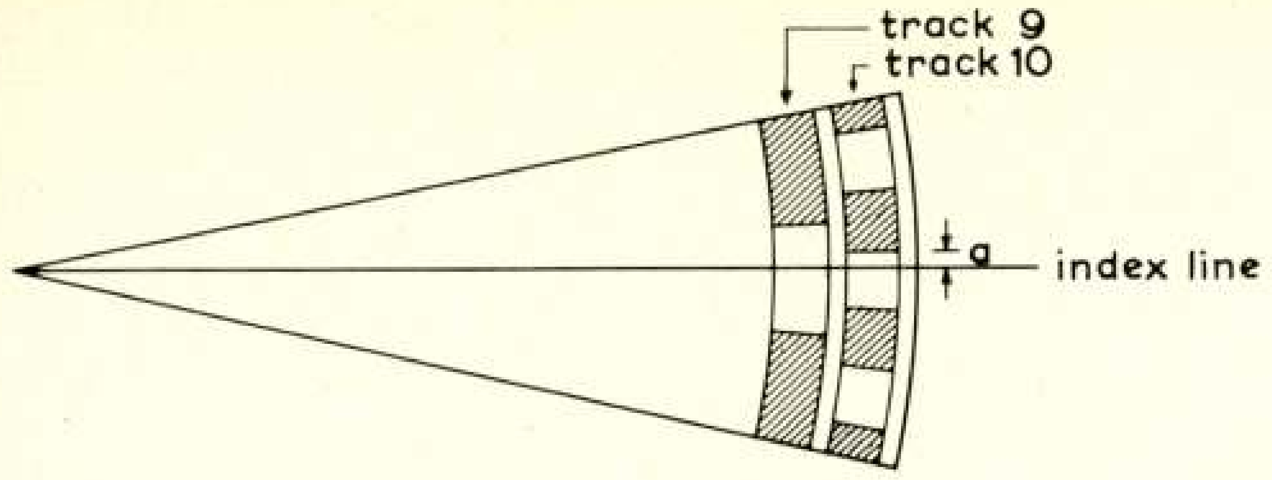


Fig. 5. Willekeurige stand van de hoofdcodeschijf t.o.v. de afleeslijn.

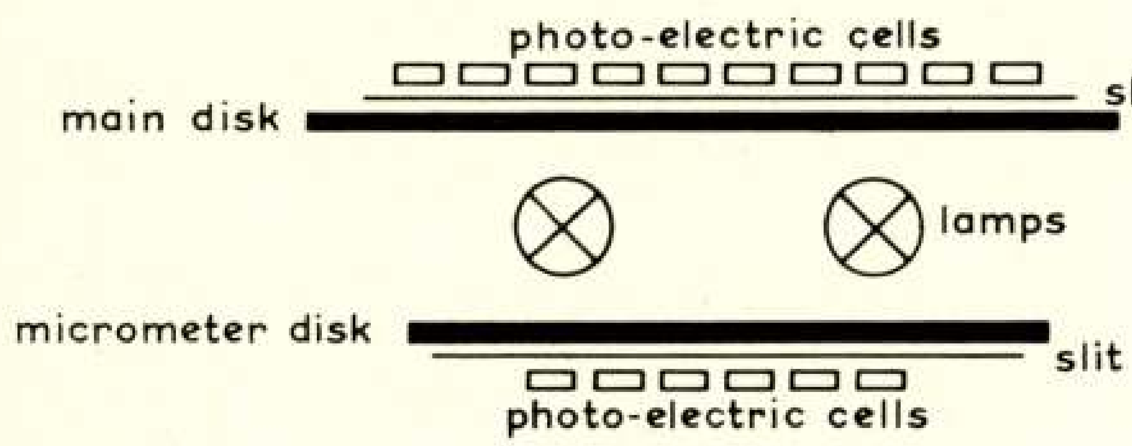


Fig. 6. Opstelling van twee codeschijven met lampjes en afleeseenheden.

het eigenlijke afleesmechanisme iets verdraaid kan worden, is het mogelijk de afleesdraad te laten coïncideren met één van de streepjes op het streepspoor. Op deze manier neemt de afleeslijn met de fotocellen de ideale stand in; tevens neemt de micrometerschijf door een mechanische overbrenging eveneens de juiste stand in.

Het grote voordeel van dit systeem is dat alleen de strepen aan hoge eisen moeten voldoen; de nauwkeurigheid van de hoofdschijf kan dan geringer blijven. Bij het aflezen zijn de fotocellen altijd minstens enkele tienden van millimeters van de zwart-wit overgangen verwijderd; ook aan de nauwkeurigheid van de overgangen op de micrometerschijf worden geen hoge eisen gesteld. Eén sector op deze schijf (dus de kleinste eenheid van het gehele getal) komt overeen met ongeveer 0,8 graad; ook het afleesmechanisme kan erg eenvoudig zijn. De twee codeschijven worden belicht met twee fietslampjes.

Fig. 6 laat de opstelling zien van de codeschijven met lampjes, foto-elektrische cellen en spleten; voor de fotocellen is het type BPY10 van Philips toegepast. Met behulp van vonkerosie zijn in een dunne metalen strip op één lijn spleten ter breedte van 60 µm gemaakt. Op deze wijze wordt zeer gemakkelijk (en goedkoop) een nauwkeurigheid van $1:2^{16}$ bereikt, veel gemakkelijker in feite dan bij de schijf voor de lengte- en hoogtemeting, waar zonder micrometer een nauwkeurigheid van $1:2^{13}$ moet worden verwezenlijkt. Bij de ontwikkeling van nieuwe geodetische apparatuur, waarmee wij nu bezig zijn, wordt ernaar gestreefd om met het micrometerprincipe een nauwkeurigheid van $1:2^{20}$ te realiseren. Hierbij zijn de fotocellen en spleten vervangen door een rij zeer smalle opgedampte fotoweerstanden; dit opdampen geschiedt bij de werkgroep instrumentatie van de afdeling Technische Natuurkunde van de T.H. Delft.

Omdat deze speciale codeschijven niet in de handel zijn en de levertijd bij bestelling van één exemplaar minstens een jaar is, hebben wij deze schijven zelf gefabriceerd. Zij werden op de volgende manier vervaardigd:

Van alle hoekpunten van de zwart-wit overgangen op de schijf zijn volgens een eenvoudige formule de poolcoördinaten te berekenen. In een computer worden van deze hoekpunten de rechthoekige coördinaten berekend volgens de formules $x = r\cos\phi$ en $y = r\sin\phi$; hierbij is ϕ de poolhoek van het betrokken punt t.o.v. de waarde *nul* op de schijf. Aan deze coördinaten, die in een band zijn geponst, worden tekeninstructies toegevoegd, zodat de hoekpunten op een elektronische tekenmachine kunnen worden gekarteerd. Met deze kartering op maatvast materiaal wordt zo nauwkeurig mogelijk de geblokte verdeling aangebracht.

Van deze tekeningen werd met de grote Klimsch-Commodore Kamera van de Rijkswaterstaat een 7-voudige verkleining gemaakt op een glasnegatief. De laatste handelingen, die aan deze vierkante plaat moeten worden verricht, zijn het cirkelvormig slijpen en het boren van een gat waarin de verticale as van de tachymeter past. Het zal duidelijk zijn dat, in verband met overstralingsproblemen e.d., voor dit fabricageproces het nodige onderzoek moest worden verricht.

Met deze codeschijven worden voor één meting 29 bits verzameld, d.w.z. 16 voor de hoekmeting en 13 voor de lengte- en hoogtemeting. Daarnaast moeten nog andere gegevens over de terreinpunten worden geregistreerd, zoals het nummer van de standplaats van het instrument, het nummer van het punt waarop de meting in poolcoördinaten wordt georiënteerd, de code voor de soort meting, het nummer van het aantal keren dat i.v.m. de nauwkeurigheid naar het terreinpunt is gemeten, eventuele foutmeldingen, enz. Deze gegevens worden ingesteld op negen duimwielschakelaars, die een BCD-uitvoer hebben; deze schakelaars leveren dus $9 \times 4 = 36$ bits. Een zaak, die het elektronisch gedeelte van het instrument gecompliceerd maakt, is de nummering van de terreinpunten waarnaar wordt gemeten; deze nummering geschiedt automatisch per standplaats; zij wordt zichtbaar gemaakt met twee indicatoren. De moeilijkheid hierbij is, dat niet alle metingen betrekking hebben op terreinpunten, maar bijv. ook kunnen dienen voor de plaatsbepaling van de standplaats. Bovendien is het mogelijk, dat verscheidene keren naar hetzelfde terreinpunt wordt gemeten i.v.m. de gewenste nauwkeurigheid; de automatische nummering mag in dit geval niet doorlopen. De automatische nummering kan per standplaats oplopen tot 99: dit levert in BCD-code nog eens 8 bits extra; in totaal worden per meting dus 29 bits in Gray-code en 44 bits in BCD-code geregistreerd.

2.3. Het elektronische gedeelte en het geheugen

In de inleiding is iets medegedeeld over tachymeters met registratie op filmstrook en ponsband; deze twee systemen blijken in de praktijk geen groot succes te zijn. Van alle soorten geheugens die bij automatische registratie verder een rol kunnen spelen leek voor ons doel het ringkerntjesgeheugen het meest geschikt. De voordelen van dit geheugen zijn:

- Er zijn geen bewegende delen die zelf voeding nodig hebben;
- het geheel kan in een laag epoxyhars en siliconenrubber worden gelegd, zodat de weersomstandigheden geen invloed meer hebben;
- de signalen worden d.m.v. de codeschijven en duimwielschakelaars parallel aangeboden en kunnen dus rechtstreeks worden geregistreerd;
- de adressen zijn gemakkelijk toegankelijk, hetgeen een groot voordeel is bij het verbeteren van foutieve metingen.

Een belangrijk nadeel van dit geheugen is echter dat het stroomverbruik voor een veldapparaat veel te groot is. Daar inmiddels de kleine cassettemagneetband op de markt was verschenen, werd deze bij de registratie toegepast. De voordelen van deze soort magneetband zijn het lage gewicht, de kleine

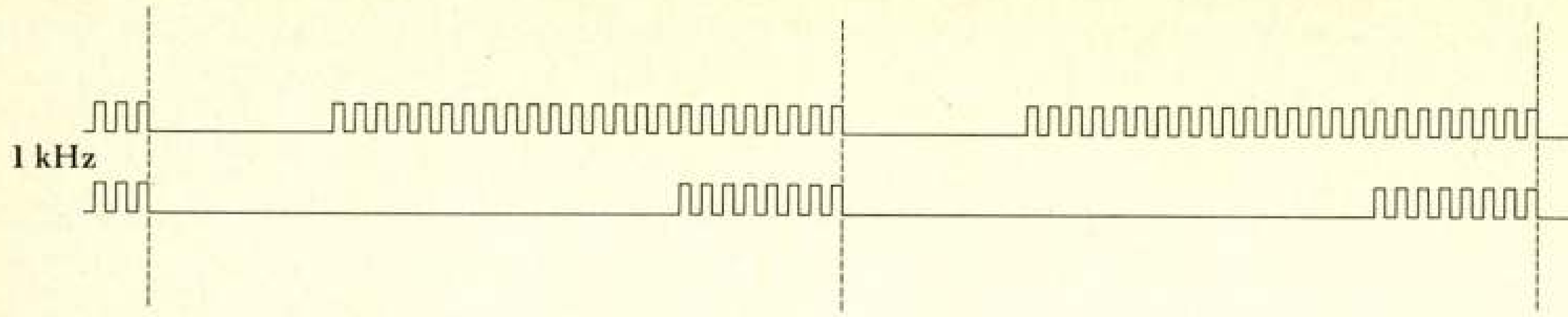


Fig. 7. '0'- en '1'-signalen.

omvang, de gemakkelijke uitwisselbaarheid van de cassettes en de omstandigheid dat de cassettes en ook zelfs de recorders overal verkrijgbaar zijn.

Op het laboratorium voor schakeltechniek en techniek der informatieverwerkende machines van de T.H. Delft – waarvan de medewerkers veel adviezen hebben verstrekt voor het elektronisch gedeelte – hebben twee studenten in het kader van hun vierde-jaarstaak een Philipsrecorder en verschillende banden voor ons onderzocht. Aangezien deze recorder maar één spoor bezit en de schrijfkop niet direct toegankelijk is, vallen systemen met meer dan één spoor en systemen waarbij het binaire signaal direct aan de schrijfkop wordt toegevoegd, buiten beschouwing. De signalen die aan de schrijfkop worden toegevoerd moeten de opnameversterker passeren; zij worden m.b.v. hoogfrequente voormagnetisatie op de band geschreven. Voor de signalen die aan de recorder toegevoerd worden kan bijv. worden gekozen uit blok-, driehoek- en sinusvormige spanningen. Bij de experimenten is gebleken dat alleen het sinusvormige signaal vormgetrouw wordt geregistreerd. Omdat een klokpuls die synchroon loopt met de geschreven informatie ontbreekt, is uiteindelijk gekozen voor een systeem waarbij het aantal geschreven perioden wordt geteld en waar tevens na iedere bit de gelegenheid bestaat dit aantal perioden te detecteren.

De metingen van de twee studenten werden uitgevoerd met signalen van 2, 3, 4, 5 en 6 kHz. Het totale aantal gemeten bits was 16 500 000, terwijl het aantal pulsen per bit varieerde van twee tot vijf; bij het onderzoek werd geen enkele fout geconstateerd.

Voor de registratie van de waarnemingen met de tachymeter is uiteindelijk gekozen voor de uitermate veilige frequentie van 1 kHz. Eén bit wordt daarbij verdeeld in drie gedeelten; het startgedeelte begint met het wegblijven van het signaal. Het middengedeelte (het informatiegedeelte) betekent voor een '1' zestien pulsen en voor een '0' nul pulsen; het eindgedeelte bestaat uit 8 pulsen. (Zie fig. 7). Op deze manier kunnen op één band 1200 metingen worden geregistreerd; dit is ongeveer de produktie in één week van een goede meetploeg bij goede weersomstandigheden.

Aan het elektronische gedeelte van het veldinstrumentarium kan kortheidshalve slechts weinig aandacht worden besteed; het is vnl. uitgevoerd met geïntegreerde circuits en wel NAND-poorten en flip-flops. Het belangrijkste gedeelte is een 80-bits-schuifregister, waar de signalen van de codeschijven en duimwielschakelaars parallel worden ingelezen.

Een besturingseenheid van 5 flip-flops zorgt niet alleen voor de schuifimpuls van het schuifregister, maar ook voor het formeren van de 0- en 1-signalen voor de magnetische band. Naast deze signalen wordt ook nog een startsignaal geformeerd; dit is een signaal dat aan het begin van iedere meting wordt gegeven; het bestaat uit 35 impulsen van 1 kHz.

In het elektronische gedeelte zorgen twee monostabiele multivibratoren voor vertragingstijden van 800 ms. Het doel van de eerste vertragingstijd is, dat:

- het schuifregister pas wordt ingelezen als het afleesmechanisme van de codeschijven voldoende werkt;
- tijdens het registreren van de signalen de recorder op volle snelheid loopt;
- er voldoende ruimte is op de band – tussen twee afzonderlijke metingen – om bij het omzetten van de meetgegevens in ponskaarten de ponsmachine zijn ponsprogramma te kunnen laten afwerken.

De tweede vertragingstijd dient om de recorder pas te laten stoppen als alle signalen zeker op de band zijn geregistreerd.

De gehele voeding van het veldapparaat bestaat uit zes herlaadbare batterijen van elk 1,2 V.

Omdat de gegevens in de band niet rechtstreeks in de computer kunnen worden ingevoerd, worden de gegevens ten kantore automatisch omgezet in ponskaarten. Aan deze ponsmachine is ook weer een cassetterecorder toegevoegd, waarin de banden, die in het terrein zijn verzameld, kunnen worden afgespeeld; ook bij dit apparaat is een elektronisch gedeelte ontworpen.

Het belangrijkste onderdeel hiervan is weer een 80-bits-schuifregister, waarin de signalen die in serie op de band staan, in parallelle vorm worden omgezet voor de verwerking in de ponsmachine. Voordat de signalen in het schuifregister komen, moeten eerst de start-, 1- en 0-signalen worden gedecodeerd; met behulp van het startsignaal wordt een 1 geponst in de eerste twee kolommen van de ponskaart.

De 80 parallelle uitgangen van het schuifregister zijn verbonden met de 80 ponsspoelen van de ponsmachine; in de apparatuur is verder nog een besturingseenheid voor de ponsmachine aangebracht. Deze draagt er zorg voor, dat in de kaarten beurtelings de *enen* en *nullen* worden geponst en dat iedere kaart in vier stappen door de machine wordt gevoerd.

3. Besluit

Wellicht zijn buiten de landmeetkunde verdere toepassingen te bedenken voor registratie van gegevens op een goedkope en kleine recorder die zo weinig stroom verbruikt. In het voorgaande is getracht aan te tonen, welke rol de elektrotechniek bij de registratie in de landmeetkunde kan spelen, welke specifieke moeilijkheden zich hierbij voordoen en hoe wij deze trachten op te lossen.

528.7.621.396.9:778.34

Niet-conventionele systemen voor luchtwaarneming

door dr. ir. G. P. de Loor, Physisch Laboratorium RVO-TNO 's-Gravenhage



Synopsis: *Non-conventional mapping systems.*
Detection of electromagnetic radiation is possible in the whole electromagnetic spectrum. Systems which are capable of making an image of the earth's surface from an airborne platform are available for the two atmospheric windows: the visible to the thermal infrared and the microwaves. The oldest system, the aerial camera, is well known; therefore the new non-conventional line-scan systems are discussed.

Of the physical attributes of the objects under observation the line-scan systems seem best suited to detect the spectral properties and polarization effects, and selection and discrimination procedures are being developed on these principles. Good groundtruth measurements are an absolute necessity in their development and for a better understanding of the physical phenomena which underlie the formation of the final image.

Automation will lighten the burden of the interpreter who will otherwise be swamped by the tremendous amount of new data.

1. Inleiding

Van het gehele elektromagnetische spectrum benutten wij maar een heel klein gedeelte wanneer wij onze ogen gebruiken; het is echter mogelijk om waarnemingen te verrichten in het gehele elektromagnetische spectrum. Daar de atmosfeer alleen transparant is in de delen het ultraviolet tot het thermisch infrarood (λ = 0,3 ... 14 μm) en de microgolven (λ = 0,1 ... 50 cm), de zgn. 'vensters', zijn deze delen momenteel het belangrijkst voor het veld van onderzoek, dat wel aangeduid wordt met 'remote sensing of environment'.

Films zijn voor directe registratie alleen bruikbaar voor het zichtbare licht en de aangrenzende gebieden (λ = 0,4 ... 1 μm).

Enkelvoudige detectoren zijn echter voorhanden in vrijwel alle delen van het elektromagnetische spectrum. Zij kunnen de ontvangen elektromagnetische straling omzetten in een elektrisch signaal; alsdan kunnen beelden verkregen worden door het veld van waarneming lijn na lijn af te tasten. De systemen, die zo werken, worden dan ook als 'line-scan systemen' aangeduid.

De televisie is een bekend voorbeeld; wij zullen daarom eerst eens kijken naar de aan televisie verwante systemen, die in satellieten worden gebruikt. Twee typen kunnen worden onderscheiden:
– de aangepaste televisie-systemen, zoals gebruikt in de weersatellieten van de TIROS en NIMBUS-serie en
– het in de Lunar Orbiter toegepaste systeem, dat gebruikt is om de Maan te karteren.

Het scheidend vermogen van het met beide systemen uiteindelijk verkregen beeld wordt vnl. bepaald door de bandbreedte die beschikbaar is voor het overzenden van het beeldsignaal. Dit heeft uit de aard der zaak de nodige consequenties voor de interpretatie der verkregen beelden.

2. Beoordelingscriteria

2.1. Het scheidend vermogen

Voor het ERTS (Earth Resources Technology Satellite) programma, ontworpen voor het inventariseren van de aardse hulpbronnen met behulp van een satelliet, maakte de NASA een indeling van de mogelijkheden (zie fig. 1), uitgaande van het scheidend vermogen van de waarnemingsinstrumenten.

Ook wijzelf deden enige jaren geleden samen met het Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO een onderzoek naar de invloed van de *beeldonscherpte* (inhaerent aan alle *line-scan* systemen) op de *leesbaarheid* van met *line-scan* apparatuur verkregen beelden [1] [2]. Een typisch resultaat was daarbij, dat reeds een geringe onscherpte de interpreteerbaarheid der beelden (vastgelegd op fotografisch materiaal) sterk verminderde, terwijl aan de andere kant nog vrij veel ruis in de afbeelding toelaatbaar was.

Men kan zich dus afvragen of we met de *line-scan* systemen wel op de goede weg zijn. Deze vraag heeft twee kanten:
– als het scheidend vermogen zo belangrijk is, is dan de *line-scan* methode wel de juiste; en
– is het scheidend vermogen wel het criterium waarop we de *line-scan* systemen moeten beoordelen?

Het volgende kan hierbij nog worden opgemerkt: geleid door onze ervaring met camera's en de gewone dagelijkse praktijk van het zien hebben we aangenomen, dat *vorm* en *geometrische afmetingen* van objecten de criteria zouden zijn om ze waar te nemen. Het onderzoek hiernaar is echter overal nog in volle gang; in ieder geval is bekend, dat vormherkenning en 'pattern recognition' zich niet zo gemakkelijk laten automatiseren. Zijn geometrie en vorm wel de enige eigenschappen om een voorwerp waar te nemen en/of te identificeren?

2.2. Andere criteria

Door het feit dat er geen films en emulsies zijn voor het overgrote deel van het elektromagnetische spectrum, zitten we toch min of meer vast aan de *line-scan* systemen indien we – hoe dan ook – willen waarnemen door middel van elektromagnetische straling anders dan het zichtbare licht. We kunnen nu het volgende lijstje opstellen van eigenschappen van een voorwerp, waarmede het mogelijk is dit voorwerp waar te nemen:
– vorm en geometrische afmetingen (scheidend vermogen);
– spectrale eigenschappen (kleur, spectrale responsie);
– veranderingen in tijd, respectievelijk plaats;
– draaiing van het polarisatievlak.

De luchtcamera dankt haar grote nut aan eigenschap 1 en deels aan eigenschap 2 (kleurenfilm, *false-color* film). Bij transmissie van het met een camera opgenomen beeld wordt de kwaliteit van dit beeld zodanig aangetast, dat het nut, gelegen in die eerste eigenschap, verdwijnt. Bij een nadere beschouwing blijken de andere *line-scan* systemen echter in staat te zijn, juist

Voordracht, gehouden tijdens de 209e werkvergadering van het NERG op 10 april 1970 te Utrecht.

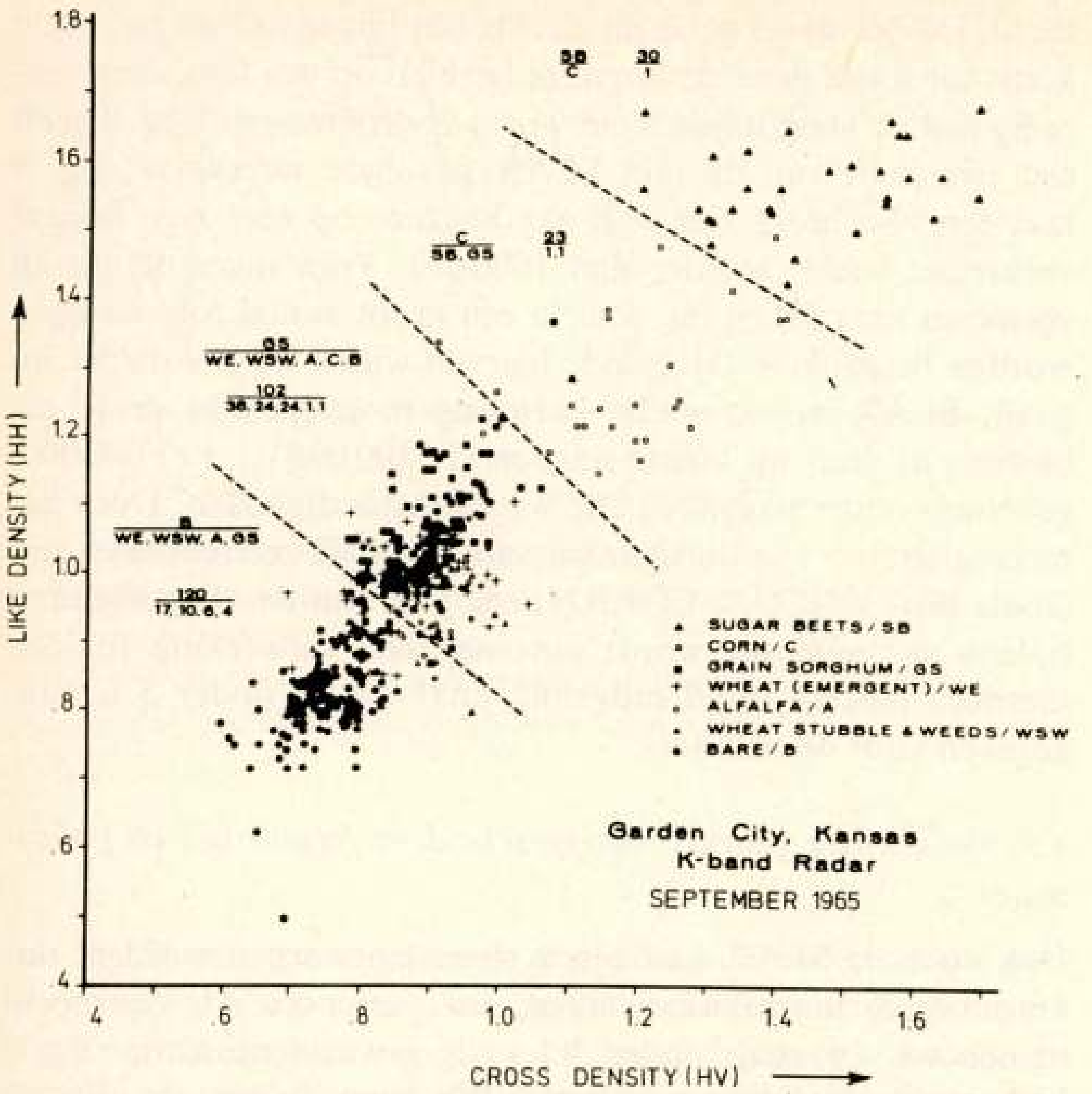


Fig. 10. Gewasselectie m.b.v. de dichtheden van verschillende gewassen op de HH en HV gepolariseerde Q-band afbeeldingen [8].

onder *2.2.* genoemde eigenschappen om een object waar te nemen:

1. de ruimtelijke; hoewel het absoluut scheidend vermogen over de grond niet groot is, is het voldoende voor de gewenste toepassing (karteren op kleine schalen);
2. de spectrale eigenschappen; en
3. de polarisatie-effecten, om objecten, gewassen, enz., te identificeren;
4. veranderingen in de tijd. Deze veranderingen kunnen op tweeërlei wijze worden vastgesteld:

– Direct; door het gebruik van een MTI (Moving Target Indicator) zijn bewegende objecten waar te nemen. Een MTI kan eenvoudig zijn omdat in de stralingsrichting der antennes de eigen snelheid nul is, daar deze loodrecht op de vliegrichting staat.

– Indirect, door het (metrisch gecorrigeerde) beeld van een vroeger opgenomen beeld te subtraheren.

4.3. Metingen op de grond

Optimale selectie- en detectieprocedures moeten nog voor de SLAR worden ontwikkeld. Evenals voor de MSS zoals onder *3.3.* is aangegeven, zijn ook hier reflectiemetingen *onder welgedefinieerde omstandigheden* noodzakelijk. Samen met *ir. A. A. Jurriëns* doet de auteur daarom met een meetradar metingen vanaf TV-torens, die een uniek, in de ruimte welgedifinieerd, platform bieden. In de omgeving van het meetgebied staat een weerstation opgesteld, dat de meetomstandigheden registreert zoals: windrichting en windsnelheid, bodemvochtigheid, regenval, enz., allemaal parameters waarvan de praktijk heeft aangetoond, dat zij voor een goed inzicht bekend moeten zijn. Voorts worden alle terreinen gefotografeerd, zowel van nabij als vanaf de toren (overzicht). Fig. 11 geeft een voorbeeld van een meting, ook aan een tarweveld, voor een golflengte λ = 3,2 cm en de twee polarisatietoestanden HH en VV; de helling van de gegeven lijnen blijkt af te hangen van de windsterkte.

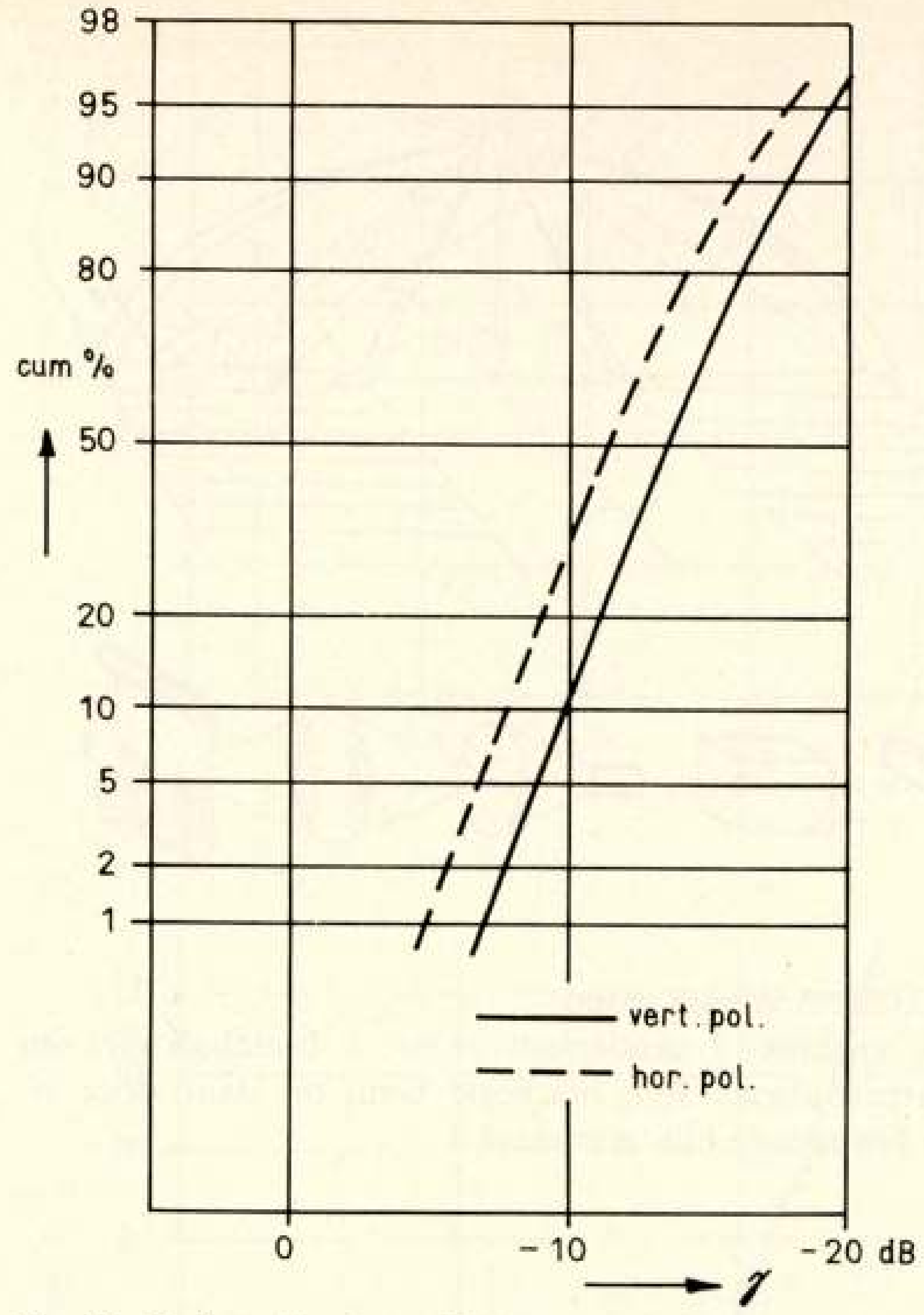


Fig. 11. Radarreflectiecoëfficiënt γ in dB van tarwe voor $\lambda = 3{,}2$ cm. Polarisaties HH en VV. Percentage van de metingen van γ dat de aangegeven meetwaarde overschrijdt.

5. Conclusies

1. De moderne *line-scan* systemen zullen moeten worden gebruikt om datgene waar te nemen wat ze het beste kunnen 'zien'. Dit betekent o.m. dat men zich niet mag vastbijten op de problemen van eigenschappen, waar de conventionele luchtopname mee staat of valt zoals bijv. een mogelijk gering scheidend vermogen. Voor waarneming met behulp van *line-scan* systemen kunnen daarom beter worden gebruikt: de spectrale responsie van objecten, gewassen, gesteenten, enz., de draaiing van het polarisatievlak hierdoor; en veranderingen in tijd, respectievelijk plaats.
2. Door hun elektrische uitgang geven *line-scan* systemen de mogelijkheid om de verkregen signalen te doen verwerken door een rekentuig, waardoor '(near) real time processing' van de enorme vloed van nieuw beeldmateriaal binnen het bereik komt; hierdoor zal de taak van de interpreteur aanzienlijk kunnen worden verlicht.
3. Verdere studie en goede metingen te velde voor, tijdens en na de vluchten zijn een *conditio sine qua non* om een en ander te realiseren en om een beter inzicht te verkrijgen in de fysische verschijnselen, die uiteindelijk de oorzaak zijn dat er een beeld ontstaat.

Literatuur:

[1] G. P. DE LOOR, A. A. JURRIËNS, W. J. M. LEVELT and J. P. VAN DE GEER: Line-scan Imagery Interpretation, Photogramm. Eng. **34** (1968), p. 502.

[2] W. A. WAGENAAR and A. VAN MEETEREN: Noisy Line-scan Pictures, Photogramm. Eng. **35** (1969), p. 1127.
[3] D. H. DAVIES: Radar – a new mapping device, 'De Ingenieur' 1970, nr. 33, blz. O 71.
[4] A. N. DE JONG: Passieve Infrarood Systemen, 'De Ingenieur' 1970, nr. 33, blz. O 81.
[5] G. P. DE LOOR: Integratie en automatisering der verschillende waarnemingssystemen, 'De Ingenieur' 1970, nr. 33, blz. O 83.
[6] Proceedings of the Symposia on Remote Sensing of Environment, vols 1 ... 6, Ann Arbor, Michigan, USA.
[7] Research Bulletin 844, Sept. 1968, Purdue University, L.A.R.S., vol. 3, annual report: Remote Multispectral Sensing in Agriculture.
[8] R. M. HARALICK, F. CASPALL and D. S. SIMONETT: Using Radar Imagery for Crop Discrimination: a Statistical and Conditional Probability Study, Remote Sensing of Environment, **1** (2) (1970), p. 131.

Korte technische berichten

Televisie-distributiesysteem

Een Britse onderneming heeft een systeem ontwikkeld waardoor televisiekijkers d.m.v. een kiesschijf een keuze kunnen maken uit een praktisch ongelimiteerd aantal kanalen. Het systeem, 'Dial-A-Programme' genaamd, bestaat uit een televisiecentrale die volgens hetzelfde principe werkt als een elektro-mechanische telefooncentrale. Door een nummer te draaien wordt het televisietoestel van de kijker aangesloten op het programma van zijn keuze. Het selector-instrument lijkt op de kiesschijf van een telefoontoestel; het werkt op identieke wijze.

Een woordvoerder van de Londense onderneming heeft verklaard dat vele van de technieken die bij het 'Dial-A-Programme'-systeem worden toegepast, reeds in gebruik zijn bij normale draadprogramma's, waardoor een uitstekende ontvangst in wat normaal als randgebieden worden beschouwd, gegarandeerd is. De voornaamste kosten bij de invoering van een dergelijk systeem liggen in de aanleg van leidingen, omdat daarvoor wegen moeten worden opgebroken. In nieuwe stadswijken zullen de kosten aanzienlijk lager liggen, daar het in dat geval mogelijk is de aanleg van de televisieleidingen te combineren met de aanleg van telefoonkabels.

London Press Service, 5 juni 1970.

Nieuwe TV-transmissie-methode

Onder licentie van de 'British Broadcasting Corporation' zal de Engelse 'Pye T.V.T. Limited' een nieuw ontwikkelde methode voor het overbrengen van TV-signalen in produktie gaan nemen.

In dit systeem, dat 'Sound In Vision' wordt genoemd, wordt het geluidssignaal in PCM-vorm gecombineerd met het beeldsignaal, waardoor zowel de geluids- als de beeldsignalen via één kanaal kunnen worden overgebracht. Op deze wijze wordt het benodigde aantal verbindingen belangrijk gereduceerd en wordt een belangrijke kostenreducering verkregen.

Overseas Newsletter, SIML 36.

Varia

Uitreiking van de 'Mervin J. Kelly Award' aan dr. ir. H. C. A. van Duuren

De 1969 'Mervin J. Kelly Award' is door 'The Institute of Electrical and Electronics Engineers' toegekend aan dr. ir. H. C. A. van Duuren met de aantekening 'For fundamental contributions to data communications'.

De prijs, die in 1959 door de Bell Telephone Laboratories en het toenmalige 'American Institute of Electrical Engineers' is ingesteld, bestaat uit een bronzen medaille, een oorkonde en een geldbedrag. De prijs kan elk jaar aan een persoon of een groep personen worden toegekend voor opvallende bijdragen aan de vooruitgang van de telecommunicatie. Op de lijst van prijswinnaars komen illustere namen voor als die van Nyquist en Shannon.

De uitreiking voor 1969 vond plaats te Noordwijk op 15 juni 1970, de eerste dag van het Internationale Symposium over Informatietheorie, dat van 15 ... 19 juni aldaar werd gehouden.

De prijsuitreiking werd ingeleid met een toespraak door dr. K. Powers van de Radio Corporation of America, die een historisch overzicht gaf van de lange en moeizame weg die is afgelegd alvorens de experimenten met het ARQ-stelsel met succes werden bekroond. Hij memoreerde daarbij in het bijzonder de nauwe samenwerking tussen de RCA en de Nederlandse PTT. Vervolgens werd de prijs aan dr. van Duuren uitgereikt.

Dr. van Duuren, die van zijn echtgenote was vergezeld, bedankte hierna allen, die bij de toekenning en de uitreiking van de prijs betrokken zijn geweest.

Het symposium werd door een groot aantal vakgenoten uit vele landen bijgewoond, onder wie ook de beide zonen van de gehuldigde; in het kader van het symposium hield dr. van Duuren vervolgens een voordracht over 'Error Control on Digital Communication Channels'. P. J. Hooijmans.

Oceanexpo 71

In Bordeaux zal van 9 ... 14 maart 1971 een tentoonstelling worden gehouden onder de naam 'OCEANEXPO 71', gewijd aan de menselijke interessen in de zee. De tentoonstelling wordt ingericht in het Parc des Expositions.

In de afdeling 'Electronics in Ocean Science' zal men de nieuwste apparatuur kunnen aantreffen op het gebied van:
- akoestische instrumentatie;
- onderwatertelevisie;
- exploratie en oceanografische instrumentatie;
- navigatiemiddelen;
- dataverwerking;
- het opwekken van elektrische energie onder water.

Verdere inlichtingen kan men verkrijgen bij Technoexpo, 8, Rue de la Michodière, Parijs 2.

Persbericht Technoexpo.

Colloquium l'Espace et la Communication

De Union des Associations Techniques Internationales (U.A.T.I.) en de Société Française des Electroniciens et des

Radioélectriciens (S.F.E.R.) organiseren een internationaal colloquium met als thema 'l'Espace et la Communication', hetwelk van 29 maart tot en met 2 april 1971 in Parijs zal worden gehouden.

Belangstellenden kunnen zich opgeven bij het secretariaat van het colloquium, 16 Rue de Presles, Parijs 15, dat ook verdere inlichtingen verstrekt. De auteurs, die een document willen inzenden, kunnen zich tot *15 november 1970* opgeven. Het inschrijfgeld bedraagt 500 Francs.

Persbericht, 27 juli 1970.

Conference: Aerospace antennas

The IEE Electronics Division, in association with the Institution of Electronic and Radio Engineers, is organizing a Conference on 'Aerospace Antennas' to be held at the Institution of Electrical Engineers, Savoy Place, London, on 8, 9, 10 June 1971.

The Conference is intended to be of interest to those responsible for the design, installation and use of radio and radar antenna systems for aircraft and other aerospace vehicles. Both military and civil applications will be considered.

Special attention will be given to the following subjects:
- Radomes;
- Environmental problems;
- Electronic scanning;
- Aerials with built-in electronics;
- Multipurpose antennas;
- Special problems of helicopters and light aircraft;
- Radiation patterns of Electro Magnetic Compatibility;
- Design of antennas for aeronautical satellite systems;
- The design of HF antennas;
- Fixed and scanning radar systems;
- The measurement of antenna performance;
- Antenna system components;
- The problems of commissioning and maintenance.

Offers of contributions for the Conference programme are invited and intending authors should submit a synopsis of about 250 words to the IEE Conference Department before Monday 2 November 1970.

Further details and registration forms will be available in due course from the Manager, Conference Department, IEE, Savoy Place, London WC2R OBL.

IEE Press Release – 169/01 – 10th August 1970.

Uit het NERG

Administratie van het NERG: Postbus 39, Leidschendam. Giro 94746 t.n.v. penningmeester NERG, Leidschendam. Secretariaat van de Examencommissie-NERG: van Geusaustraat 151, Voorburg.

Ir. P. H. Boukema afgetreden als Voorzitter van de Examencommissie van het NERG

Op 15 juni 1970 trad ir. P. H. Boukema af als Voorzitter van de Examencommissie van het NERG tijdens een sfeervolle receptie, die hem in de Vlietschool te Voorburg werd aangeboden.



Fig. 1. Prof. dr. ir. J. Davidse, Voorzitter van het NERG, drukt de scheidende Voorzitter van de Examencommissie de hand.

De nieuwe Voorzitter, ir. J. H. Geels, memoreerde dat de heer Boukema in 1942 voor het eerst als examinator aanwezig was bij het elfde examen, dat de Commissie organiseerde. In het voorjaar van 1950 werd Boukema plaatsvervangend Voorzitter; vanaf voorjaar 1953 heeft hij de functie van Voorzitter vervuld. Ingewijden zullen nog wel eens de mondelinge examens voor elektronica-technicus en elektronica-monteur in hun herinnering terugroepen, die tot enige jaren geleden in het gebouwencomplex van de Haagse Dierentuin werden afgenomen.

De heer Boukema heeft steeds grote belangstelling getoond voor het elektronica-onderwijs, getuige o.a. zijn zitting hebben in de Stichting tot Bevordering van het Vakonderwijs op het Gebied van de Elektronica in Nederland (SVEN).

Een groot aantal examinatoren en bekenden uit de kring van het NERG waren ter receptie aanwezig om de scheidende Voorzitter de hand te drukken.

V.

Ledenmutaties

Nieuwe leden

Ir. D. Beekman, Oude Delft 247, Delft.
Ir. H. A. J. M. van Hoof, 2e Schuytstraat 210, 's-Gravenhage.
Dr. ir. K. Teer, Vesaliuslaan 50, Eindhoven.

Nieuwe adressen van leden

Ir. H. N. Hansen, Avenue du Fort Jaco 42, Brussel.
Ir. F. W. Höld, Paulaland 20, 's-Gravenhage.
Ir. R. F. A. Mugie, Hertog Eduardstraat 20, Venlo.
Dr. J. J. van Zolingen, Menthenbergseweg 19, Arnhem.